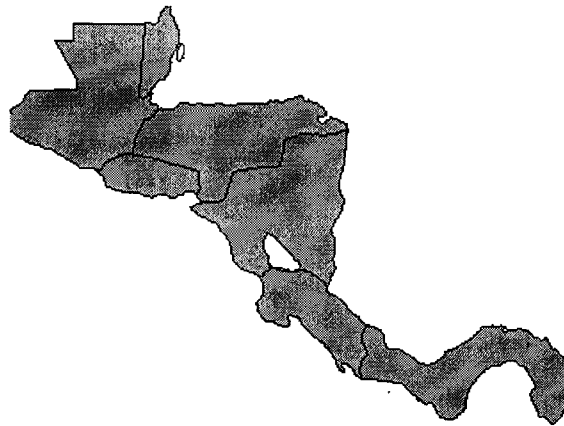


INFORME FINAL

PROYECTO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL

Walter Montero P.
Giovanni Peraldo H.
Wilfredo Rojas Q.

Universidad de Costa Rica
Escuela Centroamericana de Geología



Instituto Panamericano de Geografía y Historia
(IPGH)
Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
(IDRC-CANADA)
Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en
América Central
(CEPREDENAC)

Este informe se presenta tal como se recibió por el CIID de parte del o de los becarios del proyecto. No ha sido sometido a revisión por pares ni a otros procesos de evaluación.

Esta obra se usa con el permiso de Pan American Institute of Geography and History (PAIGH).

© 1997, Pan American Institute of Geography and History (PAIGH).

INFORME FINAL

PROYECTO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL

**Walter Montero P.
Giovanni Peraldo H.
Wilfredo Rojas Q.**

**Universidad de Costa Rica
Escuela Centroamericana de Geologia**

**Instituto Panamericano de Geografia y Historia
(IPGH)**

**Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
(IDRC-CANADA)**

**Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en
América Central
(CEPREDENAC)**

-Setiembre 1997-

INDICE

1. Resumen	4
Abstract	6
2. Introducción	8
2.1. Objetivos del proyecto	8
2.1.1. Objetivo general	8
2.1.2. Objetivos específicos	9
2.1.2.1. Relativos a los estudios de sismicidad histórica	9
2.1.2.2. Relativos al estudio de amenaza sísmica América Central	10
3. Organización y actividades	10
3.1. Investigaciones en archivos para la documentación de sismos	11
3.2. Interpretación sismológica de eventos históricos	12
3.3. Talleres efectuados	13
3.3.1 Taller de catálogos sísmicos	13
3.3.2. Taller de regionalización sísmica de América Central	14
4. El Catálogo	14
4.1. Catálogo histórico	14
4.2. Investigación de la sismicidad histórica de América Central	16
4.2.1. Metodología y resultados de la investigación de sismos históricos	16
4.3. Catálogo instrumental	24
5. El Software	25
5.1. Descripción del software usado en la elaboración del banco de temblores	25
5.2. Software desarrollado para el banco de temblores históricos	25
5.2.1. Descripción del programa "CATASIS"	26
5.2.2. Acceso y costo de distribución del programa "CATASIS"	27
5.3. Software utilizado en la estimación de la amenaza sísmica	27
6. Estimación de Amenaza Sísmica	27
6.1. Metodología	27
6.1.1. Consideraciones de incertidumbre	28
6.1.2. Completitud	28
6.2. Presentación del modelo, descripción de las fuentes sísmicas	29
6.3. Relación de atenuación	35
7. Presentación de mapas	38
7.1. Proceso de compilación	38
7.2. Elaboración de los mapas de amenaza	38
7.3. Estimación y resultados de la amenaza	39
7.4. Conclusiones	41
8. Relevancia y significado regional y local	44
9. Esfuerzo para disseminación de resultados	45
9.1. Durante el proyecto	45
9.2. Posteriores al proyecto	46

9.2.1. Sobre sismidad histórica	46
10. Conclusiones	46
11. Referencias	47
12. Apéndices	49
Apéndice 1 -Taller de catálogos sísmicos	49
Apéndice 2 -Información recuperada de los archivos y hemerotecas consulatadas	52
Apéndice 3 -Terromotos históricos interpretados	59
Apéndice 4 -Formato del catálogo del proyecto	62
Apéndice 5 -Descripción de publicaciones realizadas dentro del marco del proyecto	71
Apéndice 6 - Bibliografía del proyecto	75

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Marco Metodológico para estudios de sismicidad histórica	17
Fig. 2: Temblores de 1526, Guatemala y El Salvador	18
Fig. 3: Mapa de intensidades para los temblores de 1776 y 1815, El Salvador	19
Fig. 4: Mapa de intensidades del temblor del 16\04\1854, El Salvador	20
Fig. 5: Mapa de sismos históricos de Honduras, 1733-1809	21
Fig. 6: Mapa de intensidades para los sismos de mayo de 1830 Guatemala	22
Fig. 7: Mapa de intensidad para los sismos de 1874 y 1883, Guatemala	23
Fig. 8: Marco geotectónico de América Central	30
Fig. 9: Areas de fuentes sísmicas para profundidades entre 0 a 40 km	32
Fig. 10: Perfil de las fuentes sísmicas definidas por la actividad sísmica a lo largo de la placa subducida	34
Fig. 11: Areas de fuentes sísmicas para las profundidades entre 40 a 70 km	35
Fig. 12: Areas de las fuentes sísmicas para las profundidades entre 70 a 110 km	36
Fig. 13: Areas de las fuentes sísmicas para las profundidades entre 110 a 200 km	37
Fig. 14: Curva de amenaza para roca en Managua, calculada a partir de los parámetros PGA contra probabilidad de	

excedencia anual, para la mayor componente del movimiento horizontal.	39
Fig. 15: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 50 años.	40
Fig. 16: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 100 años.	41
Fig. 17: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 500 años.	42
Fig. 18: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 1000 años.	43

INFORME FINAL

PROYECTO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL

1. RESUMEN

La Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (ECG-UCR) asumió las responsabilidades de las actividades del proyecto para América Central, con el beneplácito de la Secretaria General del Centro Regional para la Prevención de Desastres Naturales de América Central (CEPREDEDAC), unos ocho meses después de que empezó el proyecto. Luego de un inicio no auspicio la ECG-UCR empezó un riguroso programa de investigación frecuentemente llevando adelante varias actividades diferentes simultaneamente. A traves de su propio esfuerzo y con la asistencia de agencias en Noruega (NORSAR) y en América Central, la ECG-UCR pudo llevar adelante las metas que se le impusieron dentro del proyecto en menos de cuatro años.

La primera fase del proyecto consistió en la compilación de un catálogo de eventos históricos y macrosísmicas y de eventos determinados de registro instrumentales de sismicidad (o sencillamente eventos instrumentales). Walter Montero (M.Sc.), Director de la ECG-UCR, y Giovanni Peraldo asumieron la responsibilidad para la realización del catálogo macrosísmico y a Wilfredo Rojas le correspondió la compilación de los eventos instrumentales.

La investigación de la sismicidad histórica incluyó varias visitas a los archivos de España, Costa Rica, Colombia y Guatemala, realizados bajo la supervisión de Giovanni Peraldo de la ECG-UCR. Además, sismólogos de la región revisaron la literatura para recolectar información de estudios anteriores de macrosismicidad que cubren hasta alrededor del año 1500. El análisis de la información resultante incluyó la compilación de mapas de intensidad, para los cuales se tenía la garantía de que eran de calidad de acuerdo con criterios definidos durante un taller centroamericano y a la experiencia de los investigadores relacionadas con la interpretación de los datos macrosísmicos. Este amplio espectro de actividades llevó a la creación de un catálogo macrosísmico revisado consistente en cientos de eventos, que cubren un período de más de cuatrocientos años, hasta el inicio del siglo XX este catálogo se denominó CATASIS. Las interpretaciones macrosísmicas para los eventos de inicios de 1900 son de gran importancia, dada la muy limitada cobertura de sismógrafos que existía dentro la región en este tiempo.

Durante el mismo período otro grupo de sismólogos dirigados por Wilfredo Rojas, reevaluó los resultados de la sismicidad registrada instrumentalmente empezando con el primer evento detectado en 1902. Desde entonces, la cobertura instrumental de la región se incrementó paulatinamente hasta el punto en que hoy existe una red de estaciones cuyas señales se registran digitalmente y que es operada por cada uno de los países y con el apoyo de CEPREDENAC. La interpretaciones locales de la sismicidad instrumental son enviadas por cada país a CEPREDENAC donde se reúne la información para ser publicada en forma de boletines mensuales y anuales y la cual mediante solicitud de los interesados, la información esta disponible.

La compilación final del catálogo instrumental fue realizado en Noruega por Wilfredo Rojas, durante el estudio que llevó a una tesis de Licenciatura. Varios programas de cómputo proporcionados por NORSAR y el desarrollo de la base de datos CATASIS fueron esenciales para la realización de esta actividad. La base de CATASIS se continua usando ampliamente en la ECG-UCR.

El catálogo combinado (eventos macrosísmicos e instrumentales) fue enviado al IPGH en 1994, lo cual marcó el inicio de un período de actividades breve pero intenso, que permitió la incorporación de esta base dentro del catálogo de proyecto. Utilizando las salidas del programa MANAGE y el resultado de la comparación con las entradas del catálogo obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y del Centro Internacional de Sismología (ISC), la oficina del proyecto identificó eventos que requirieron una revisión adicional. ECG-UCR sopesó los datos proporcionados por la oficina del proyecto y realizó recomendaciones para eliminar cualquier discrepancia. En el proceso una nueva metodología para la selección de soluciones múltiples para un mismo evento permitió realizar mejoras significativas al catálogo, así como la conversión de las magnitudes al momento, dado que este es el parámetro más apropiado para definir el tamaño de los sismos.

Un grupo de sismólogos de todos los países de América Central se reunieron en 1994 para definir las fuentes sísmicas, con base en consideraciones tectónicas y en la distribución de la sismicidad. Este permitió la definición de 28 zonas sísmicas entre las cuales se distribuyó la sismicidad de la región. Relaciones de recurrencia para cada magnitud dentro de cada zona sísmica fueron realizadas usando la bien conocida relación de Gutenberg y Richter, incluyendo la asignación de incertidumbres máxima y mínima, cada una de las cuales fueron asignadas para su uso dentro del árbol de lógica que fue usado en los cálculos de la amenaza. Este proceso además permitió estimar los períodos de completitud para cada magnitud dentro de cada fuente sísmica.

La relación de atenuación usada en el cálculo de la amenaza fue derivada por Climent et al (1994), a partir de datos de aceleración obtenidos en América Central y en el sur de México. Un total de 218 de tales medidas fueron usadas en la derivación del modelo de atenuación, mediante el uso de la técnica de ajustes por mínimos cuadrados. El uso de las observaciones del sur de México permitió restringir la relación en las altas magnitudes y en las distancias epicentrales más grandes.

El cómputo de la amenaza sísmica fue realizado usando un programa proporcionado por NORSAR, con base en el 10% de probabilidad de excedencia para los períodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años. Estos períodos de retorno son diferentes de aquellos usados en otras regiones, aunque el de 500 años es un período de retorno cercano al de 474.56 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años) usado más frecuentemente dentro del proyecto. El mapa mismo, como podía esperarse, muestra que las regiones de máxima amenaza coinciden con la zona de subducción a lo largo de la costa pacífica de América Central y con la zona de fractura de Panamá. Otra zona de relativamente alta amenaza ubicada al norte de América Central, tiene dirección cercana al este-oeste y corresponde con el límite de placas Caribe-Norteamérica.

ABSTRACT

The Escuela Centroamericana de Geología of the Universidad de Costa Rica (ECG-UCR) assumed responsibility for the activities of the project within Central America from the then Secretary General of the Centro Regional para la Prevención de Desastres Naturales America Central (CEPREDENAC) about eight months after its beginning. From this inauspicious start, ECG-UCR undertook a vigorous program of research frequently involving several contemporaneous but different activities. Through its own efforts and with the assistance of agencies in Norway (NORSAR) and in Central America, ECG-UCR managed to accomplish the goals set for it by the project in less than four years.

The first phase of the project involved the compilation of the best possible catalogue of historical or macroseismic events and events determined from instrumental recordings of seismicity (or simply instrumental events). Walter Montero (M.Sc.), the Director of ECG-UCR and Giovanni Peraldo assumed responsibility for the macroseismic portion of the catalogue and Wilfredo Rojas for the compilation of instrumentally recorded events.

The research into historical seismicity included several visits to archives in Spain, Costa Rica, Colombia and Guatemala by teams of individuals under the leadership of Giovanni Peraldo of ECG-UCR. In addition, seismologists from the region conducted an extensive review of the literature to collect the available information on previous studies of macroseismicity which dated back to about 1500. The analysis of the resultant information included the re-compilation of intensity maps where warranted and independent checks of the quality of previous seismic interpretations of macroseismic data carried out either separately or at working meetings of individuals from Central America knowledgeable in both the seismicity of the region and the interpretation of macroseismic data. This broad spectrum of activities led to the creation of a revised macroseismic catalogue consisting of several hundred events extending over a period of more than four hundred years, including the early 1900s. The macroseismic interpretations for the 1900s turned out to be very useful given the limited coverage of seismographs within the region during this interval.

During the same period other groups of seismologists led by Wilfredo Rojas re-evaluated the results of instrumentally recorded seismicity, beginning with the first such event in 1902. From that time the instrumental coverage in the region slowly improved to the point where to-day there exists a network of digital seismographs, operated by the individual countries under the general direction of CEPREDENAC. Local interpretations of instrumental seismicity are forwarded by each country to CEPREDENAC which puts together monthly and yearly bulletins of events and, on request, makes digital data available to seismologists from outside the region.

The final compilation of the instrumental catalogue was carried out in Norway by Wilfredo Rojas during the course of an M.Sc. study. Several computer programmes provided by NORSAR

and the development of the CATASIS system were essential to this activity. CATASIS continues to be used extensively by ECG-UCR to-day.

The combined catalogue (macroseismic and instrumental events) was forwarded to IPGH in 1994 which marked the start of a brief but intense period of activities to incorporate it into the project catalogue. Using outputs from the MANAGE programme and the results of comparisons with entries in catalogues obtained from the United States Geological Survey (USGS) and the International Seismological Centre (ISC), the project office identified events which required further review. ECG-UCR assessed the data provided by the project office and made recommendations to eliminate any discrepancies. In the process a new hierarchy for the selection of multiple solutions to the same event led to some significant improvements in the catalogue as did its conversion to the use of moment magnitude as the descriptor of the size of the events.

A group of seismologists from all the countries in Central America met in 1994 to define source zones based on considerations of tectonic patterns and the distribution of seismicity. This led to the definition of 28 source zones into which the seismicity of the region as defined by the catalogue has been subdivided. Recurrence relations for each magnitude within each source zone have been established using the well known Gutenberg-Richter equation with a maximum and minimum envelope of uncertainty, each of which has been assigned a weight in the formation of the "logic tree" used in the calculations. This meeting also estimated the periods of completeness for each magnitude within each source zone.

The attenuation relation used for the computations is that derived by Climent et al (1994) from strong motion data observed in both México and Central America. A total of some 218 such measurements has been used in the least squares derivation of this attenuation model. The use of the observations from México provided important data at greater distances from the epicentres.

The computations of seismic hazard were made, using a computer programme provided by NORSAR, on the basis of a 10% probability of exceedance for return periods of 50, 100, 500 and 1000 yr. These return periods are different from those used in other regions, but that for 500 yr is reasonably close the 474.56 yr return period (10% probability of exceedance in 50 yr) used more generally within the project. The map itself, as might be expected, shows the regions of highest hazard to coincide with the zone of subduction earthquakes along the west coast of Central America and with the Panamá fracture zone. Another zone of relatively high hazard trends more or less east-west across the northern part of Central America, connecting up with similar trends in the Caribbean.

2. INTRODUCCION

El proyecto de Amenaza Sísmica del **Instituto Panamericano de Geografía e Historia (I.P.G.H.)**, contando con el financiamiento de la **Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (I.D.R.C.)**, inició en 1990 una serie de programas dirigidos hacia la evaluación de la amenaza sísmica en América Latina. Esta gran región se dividió en varias subregiones, a saber México, América Central, El Caribe y América del Sur. En cada una de ellas se realizaron una serie de actividades e investigaciones encaminadas hacia el anterior objetivo general. En este informe se presentan los resultados obtenidos en la subregión de América Central, la cual se ejecutó a través del **Centro de Prevención de Desastres Naturales de América Central (CEPREDENAC)**, como organismo regional coordinador y en su desarrollo técnico fue coordinado y ejecutado por la **Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica**. El coordinador técnico nombrado por CEPREDENAC fue **Walter Montero**. En los capítulos siguientes se describirán los principales resultados obtenidos en las diversas fases del proyecto.

La primera fase del proyecto contempló el estudio de la sismicidad histórica de América Central. Un elemento fundamental para el desarrollo de este estudio, fue la elaboración de una base de datos de temblores históricos que incorporará las diversas referencias sobre eventos sísmicos ocurridos en esta región desde la conquista española. El catálogo realizado incorpora catálogos de diversos países individuales y distintos documentos históricos obtenidos de fuentes variadas. Se incluye además interpretaciones de los autores, para varios sismos históricos. Este banco de información se complementó con el que realizó para esta misma región Wilfredo Rojas et al. (1993), que incorpora información proveniente de temblores recientes (posteriores a 1900), y que se realizó dentro del proyecto CEPREDENAC-NORSAR (Norwegian Seismic Array). El banco de temblores fue luego utilizado en un estudio de amenaza sísmica que se configuró como el objetivo terminal de este proyecto en América Central.

En los siguientes apartados se presentan los resultados y logros realizados a través de los diferentes fases que se desarrollaron en el proyecto.

2.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto fue realizar un estudio de amenaza sísmica de la región de América Central, utilizando la más moderna metodología de análisis y contando con el soporte de una base actualizada y completa de temblores históricos y recientes, elaborada de diferentes fuentes de información.

Un objetivo general dentro del proyecto fue incentivar el desarrollo de recursos humanos dentro de la región de América Central, dirigidos a la realización de estudios de sismicidad histórica y de amenaza sísmica, utilizando las metodologías más modernas y los mejores datos de información.

2.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos que se plantearon en el proyecto se pueden dividir en dos categorías, a saber: a.- **Estudios sobre la sismicidad histórica** y b.- **Estudio de Amenaza Sísmica**. Ambos tipos de objetivos están intimamente ligados, considerando que los estudios de sismicidad histórica, además del aporte que proporcionan a los estudios de sismicidad y sismotectónica, son la herramienta fundamental sobre la cual descansa un buen estudio de amenaza sísmica. A continuación describimos ambos grupos de objetivos.

2.1.2.1 RELATIVOS A LOS ESTUDIOS DE SISMICIDAD HISTORICA

En relación con los estudios realizados sobre sismicidad histórica de América Central, los siguientes fueron los objetivos específicos más importantes que se plantearon en el proyecto:

- 1) Elaborar una base de datos que incluyera los temblores históricos ocurridos en América Central. La información que nutriría este banco de información, consistiría de diversas publicaciones existentes y de los documentos primarios obtenidos en diversos archivos de la región o extraregionales.
- 2) Investigar en documentos históricos existentes en archivos y en bibliotecas del área centroamericana y de España, para mejorar la completitud del catálogo sismológico histórico de los diversos países de América Central. Especialmente se consideró mejorarlo en países como Nicaragua, Honduras y Costa Rica (siglo XVII), en los cuales mediante un diagnóstico elaborado durante el proyecto, se había determinado una inadecuada documentación de los temblores dañinos ocurridos en los diversos siglos de la época colonial.
- 3) Continuar la investigación de diversos temblores dañinos que solo se conocían por fuentes secundarias vagas e imprecisas. De esta manera, se estudiaría en diferentes fuentes de información, sismos específicos para los cuales solo se tenían referencias circunstanciales de daños importantes. Esta investigación se realizó en varios archivos de Guatemala, Panamá, Colombia, España y Costa Rica.
- 4) Interpretación de los datos macrosísmicos recopilados en los diferentes archivos investigados y en las publicaciones existentes para la confección de mapas de intensidades, determinación de parámetros focales y su relación con elementos tectónicos del área centroamericana (esto se realizó para aquellos eventos que admitían un procesamiento más elaborado de la información). Esto permitiría determinar con mayor precisión los parámetros macrosísmicos de un buen número de sismos.

5) Interpretación de los documentos dentro del contexto histórico, social, cultural, económico, político y educacional. Esta fase de la investigación tenía carácter interdisciplinario, donde la historia se trató de involucrar de una manera más profunda en la interpretación de la sismicidad de Centro América, para así obtener un mayor aprovechamiento de la información localizada en los diferentes archivos consultados. Se trabaja con investigadores del área social, para evaluar y considerar el impacto social y económico que tuvo la actividad sísmica sobre el desarrollo de las comunidades centroamericanas.

2.1.2.2 RELATIVOS AL ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL

Con respecto a la amenaza sísmica, los siguientes fueron los principales objetivos que se plantearon:

- 1) Realizar una estimación de la amenaza sísmica de la región de América Central, acorde con los más modernos métodos de estimación probabilística y con base en los datos más actualizados que se tengan respecto a la sismicidad, neotectónica y atenuación de las señales sísmicas existentes en la anterior región.
- 2) Determinar las zonas que presentan mayor amenaza en América Central para fines de prevención, mitigación y divulgación entre los organismos y personas que tienen relación con estas temáticas, como son los organismos de emergencia, la comunidad geocientífica, ingenieril, aseguradores, planificadores y todas aquellas personas que tengan interés en el fenómeno sísmico y sus consecuencias.

3. ORGANIZACION Y ACTIVIDADES

Una breve discusión de la forma en que cada región realizó la investigación y un resumen informativo de las actividades, incluyendo talleres realizados para tomar decisiones grupales.

El proyecto de Amenaza Sísmica de América Latina en su componente de la subregión de América Central, fue coordinado a través del **Centro de Prevención de Desastres de América Central (CEPREDENAC)**. Esta organización de carácter regional, es un organismo coordinador de proyectos relacionados con desastres naturales, como son los terremotos. Inicialmente el proyecto fue coordinado técnicamente por el primer Secretario Ejecutivo de esa entidad, Dr. Aristóteles Vergara. En una reunión realizada en ciudad de Panamá en mayo de 1991, el Consejo de Representantes, máximo órgano decisorio de CEPREDENAC, consideró conveniente que ese proyecto de carácter técnico, fuera ejecutado por una unidad técnica adscrita a ese organismo. Es así, como a mediados de 1991 se aprobó que la **Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica** y el sismólogo **M. Sc. Walter Montero**, coordinarán ese proyecto para América Central. De esta manera, este último inició formalmente sus actividades en setiembre de 1991, luego de reuniones de coordinación realizadas, entre las diversas partes involucradas en el proyecto, incluyendo una con el Dr. Chester Zelaya, secretario General del

I.P.G.H. y con el Dr. Jim Tanner, Coordinador Técnico General del proyecto. En estas reuniones se definieron los alcances del proyecto, metas y cronograma de actividades.

Posteriormente, a nivel de Centro América se involucró en diversas tareas del proyecto, a aquellas personas que tuvieron interés en aportar trabajo o conocimientos para tratar de alcanzar los logros y fines del mismo. En Panamá, esto se coordinó con el M. Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. En El Salvador, con el Lic. Guillermo Morán; en Guatemala, con el Ing. Mario Villagrán y Percy Mayol; en Honduras, con el Dr. Gonzalo Cruz y en Nicaragua con el M. Sc. Fabio Segura. En Costa Rica, el aporte del grupo profesional y técnico de la Escuela de Geología, involucró la participación en diferentes partes del proyecto, del Geol. Giovanni Peraldo, el Lic. Wilfredo Rojas, el Lic. Luis Obando, la Geol. Magda Taylor, el Tec. Jaime Brenes y el Téc. Mauricio Mora. También se le hicieron consultas al Dr. Javier Pacheco, del Centro de Investigaciones Geofísicas. De la Escuela de Historia de la Universidad de Costa Rica, participaron la Hist. Claudia Quirós y la Antrop. María Elena Calzada. Del avance del proyecto se presentaron diversos informes en las reuniones técnicas del CEPREDENAC, cuyo coordinador a nivel regional, el Dr. Federico Güendel y los representantes nacionales de sismología de cada país del área fueron enterados de las actividades y logros que se iban alcanzando en el proyecto y fueron invitados a participar. Asimismo, personal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, con sede en la Universidad Nacional de Heredia y de la Sección de Sismología y Vulcanología del Instituto Costarricense de Electricidad, fueron invitados a participar en los talleres realizados, que más adelante se detallan.

Para cumplir las metas y objetivos del proyecto se decidió organizar las actividades en una serie de etapas, que se describen a continuación.

3.1 INVESTIGACIONES EN ARCHIVOS PARA LA DOCUMENTACION DE SISMOS

Para realizar la investigación documental en los archivos se contó con diversos investigadores y colaboradores, los cuales recopilaron la información de interés especialmente durante la primera fase del proyecto. La Hist. Claudia Quirós y el Geol. Giovanni Peraldo visitaron el Archivo General de Indias y la Biblioteca Nacional de Madrid, ambos en España. Esta investigación se realizó durante los meses de enero y febrero de 1992.

El Archivo Nacional de Costa Rica y el Archivo Eclesiástico de la Curia Metropolitana de San José, Costa Rica, fueron visitados por el Geol. Giovanni Peraldo y por el asistente Mauricio Mora. Este trabajo se realizó especialmente durante la primera parte del proyecto y enriqueció en una forma sustancial el libro "Sismicidad Colonial de Costa Rica", que se publicó en 1994.

Diversos archivos de Panamá y Colombia fueron visitados por el M. Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. Las investigaciones en los archivos colombianos fueron ejecutadas durante un período de quince días a fines de junio y principios de julio de 1992.

El Archivo General de Centro América en Guatemala, fue consultado dos veces durante el proyecto. La primera investigación duró quince días y fue realizada por el Geol. Giovanni

Peraldo, entre el 20 de julio y el 2 de agosto de 1992. Posteriormente, la Hist. Claudia Quirós visitó este archivo entre el 14 de febrero y el 12 de marzo de 1994.

El trabajo en el Archivo General de Centro América, se organizó de tal manera que siguiera una secuencia lógica de investigación, consultando primero los ficheros, los cuales están organizados por temas y países. Se revisaron algunos de los temas que puedan sugerir la ocurrencia de un evento sísmico, no obstante, considerando que únicamente se dispuso de quince días, no fue posible consultar todos los ficheros, por lo que todavía queda gran cantidad de información por consultar.

La mayoría de los documentos consultados han aportado información valiosa para aumentar, en algunos casos, el conocimiento de eventos previamente reportados y en otros casos para documentar eventos que no habían sido investigados.

3.2 INTERPRETACION SISMOLOGICA DE EVENTOS HISTORICOS

La información recopilada acerca de gran cantidad de sismos en las diferentes publicaciones consultadas, junto con los documentos de los archivos investigados, se ha interpretado o reinterpretado según el estado del conocimiento del evento específico. Se han obtenido así nuevos epicentros, magnitudes macrosísmicas, mapas de intensidades, entre otros para una gran cantidad de sismos destructivos ocurridos.

Esta actividad se inició una vez que se recopiló toda la información existente en diferentes fuentes respecto a cada sismo histórico ocurrido. Esto se inició después de que se incorporó la información de cada sismo en los módulos "Datos Macrosísmicos" y "Notas" del catálogo de temblores CATASIS. Esto ocurrió a principios de 1993 y ha continuado hasta el presente en un proceso de revisión exhaustiva de cada evento dañino (intensidad mayor que VII).

Como continuación a la anterior actividad, las nuevas interpretaciones realizadas fueron a su vez incorporadas en los módulos de "Datos Hipocentrales" y "Distribución de intensidades" de CATASIS.

En esta parte del proyecto trabajaron diversas personas. El M. Sc. Walter Montero en la interpretación sísmológica. El Geól. Giovanni Peraldo H. en el procesamiento de información e interpretación sísmológica. La Hist. Claudia Quirós V. en la interpretación histórica.

En el cuadro 1 se muestran los créditos de investigación desde la elaboración y diseño del banco de temblores hasta su posterior análisis (Peraldo, 1993b).

Cuadro 1: Créditos de investigación.

ARCHIVOS CONSULTADOS	Archivo General de Indias (AGI), Sevilla, España. Biblioteca Nacional de Madrid, España (BNM). Archivo General de Centro América (AGCA), Guatemala. Hemeroteca Nacional (HNG), Guatemala, Archivo Nacional de Costa Rica (AN), Archivo de la Curia Metropolitana (ACM), Costa Rica, Hemeroteca Asamblea Legislativa de Costa Rica (HAL), Hemeroteca Biblioteca Nacional Costa Rica (HBN) Archivo Nacional de Colombia (ANC).
INVESTIGADORES	Hist. Claudia Quirós Vargas (AGI); Geól. Vilma Viquez (ANC); Fis. Eduardo Camacho (ANC); Geól. Giovanni Peraldo H. (AGI, BNM, AGCA, HNG, AN, ACM).
COORDINACION	M.Sc. Walter Montero Pohly
PROGRAMACION	Tec. Jaime Brenes Geol. Luis Gmo. Obando
BASE DE DATOS	Geol. Giovanni Peraldo Huertas
INTERPRETACION MACROSI-MICA	Geol. Giovanni Peraldo Huertas MSc. Walter Montero Pohly
INTERPRETACION HISTORICA	Hist. Claudia Quirós Vargas

3.3 TALLERES EFECTUADOS

Como parte de las actividades desarrolladas durante el proyecto, se realizaron dos talleres en la Escuela Centroamericana de Geología. El objetivo de dichos talleres fue el de dar a conocer el proyecto en sus alcances y objetivos, coordinar esfuerzos con los investigadores de las diversas instituciones geocientíficas del área centroamericana, para llevar adelante las diversas fases del proyecto y enriquecerlo con los aportes y conocimientos que los participantes tenían acerca de las características sismológicas y neotectónicas de diversas partes del territorio centroamericano. Los talleres realizados fueron:

3.3.1 TALLER DE CATALOGOS SISMICOS.

Fue coordinado por Walter Montero y Giovanni Peraldo y se realizó entre el 6 y 7 de agosto de 1992, en la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica. En este taller se discutió cual era la información sismológica que se incorporaría en el catálogo. Además se discutió respecto al formato del banco de temblores. Para estudiar la información contenida en el banco de temblores, también se analizaron diversos criterios para la estimación de los parámetros focales a partir de datos macrosísmicos. En el apéndice 1 se muestra la lista de participantes y las conferencias que se impartieron en el taller.

3.3.2 TALLER DE REGIONALIZACION SISMICA DE AMERICA CENTRAL

Este taller se realizó entre el 30 de setiembre y el 01 de octubre de 1993. Los coordinadores de este evento fueron Walter Montero, Wilfredo Rojas y Magda Taylor de la Escuela de Geología.

Los objetivos de este taller fueron definir las fuentes sismogénicas más relevantes de la región centroamericana para fines de su zonificación, también se discutió acerca de las magnitudes máximas esperadas en estas fuentes y sobre la ley de atenuación de aceleraciones más apropiada para ser aplicada en el estudio de amenaza sísmica. Los datos anteriores fueron utilizados posteriormente en el trabajo sobre Regionalización Sísmica de América Central, efectuado en NORSAR, Noruega, por Wilfredo Rojas.

En dicho taller participaron profesionales de cada uno de los países del área Centroamericana. Cada uno de ellos proporcionó aportes y sugerencias y los resultados más recientes de sus datos sismológicos. En el apéndice 1 se muestra la lista de participantes y las charlas que se desarrollaron en este taller.

4. EL CATALOGO

Un estudio de amenaza sísmica debe partir de buena base de información, en este caso de una buena base de temblores, que cubra el mayor período de tiempo posible. Generalmente la información relacionada a la sismicidad histórica (anterior a 1900), es la que se encuentra más dispersa y fragmentaria, por lo que es importante hacer continuos esfuerzos por mejorar la información y documentación de esta parte de la historia sísmica de una región. En este proyecto, se realizó un trabajo consistente, continuado y metódico que permitiera elaborar de una buena base de datos de temblores históricos, que incorporara las diversas referencias sobre sismos ocurridos en América Central, además de información adicional que se rescatara de los archivos. En los siguientes apartados se discute las diferentes fases de investigación que permitieron elaborar la base de temblores de sismos históricos.

4.1 CATALOGO HISTORICO

En este proyecto como ya se mencionó, se financiaron una serie de investigaciones en archivos localizados en diferentes localidades. El trabajo se inició con una investigación en el Archivo General de Indias (A.G.I) y en la Biblioteca Nacional de Madrid (B.N.M.) en España. Esto debido a que los reportes de los conquistadores y de los gobernadores durante la Conquista y la época Colonial, eran transmitidos directamente hasta la sede del reinado que se ubicaba en España. Estos documentos fueron archivados especialmente en los dos anteriores archivos.

En el apéndice 2 se muestra un cuadro con los documentos consultados en el Archivo General de Indias. Asimismo, se muestra otro cuadro con los temblores que fueron recuperados

de documentos investigados en este mismo archivo. Finalmente, también se incluye en este mismo apéndice una descripción de la organización del Archivo General de Indias, para ayuda para los futuros investigadores que lo deseen consultar.

También se realizó otra investigación en el Archivo General de Centro América (A.G.C.A.), ubicado en ciudad de Guatemala. En este lugar se archivaron gran cantidad de documentos de la época de la conquista y especialmente de la Colonia, dado que en esta fue la sede de la Capitanía General de Centro América durante este tiempo.

La investigación en el Archivo General de Centro América fue especialmente productiva, ya que se lograron ubicar 39 eventos sísmicos de América Central (ver apéndice 2 con los documentos y temblores estudiados). La gran cantidad de información que existe en este archivo se debe a que Guatemala era la sede del reino del mismo nombre, que comprendía el territorio desde Chiapas en México hasta Costa Rica; por lo tanto, el evento sísmico era reportado a la Capitanía de Guatemala según su impacto económico o social, o como menciona Acosta (1993) según el grado de vulnerabilidad de la provincia afectada. De esta manera, los terremotos más importantes que afectaban las diversas provincias eran reportados hasta ciudad de Guatemala.

Finalmente, se consideró también conveniente realizar una investigación en los archivos y bibliotecas de Colombia, dado que Panamá durante la época de la colonia perteneció al anterior país. Este trabajo fue realizado por el M.Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. De esta manera, en Bogotá, Colombia, ellos investigaron el Archivo Nacional de Colombia, la Biblioteca del Observatorio de los Andes y la Biblioteca Nacional de Colombia. En ciudad de Panamá también ellos investigaron el Archivo Nacional de Panamá, la Biblioteca Nacional Ernesto J. Castillero, The Smithsonian Tropical Research Library, La Hemeroteca de la Biblioteca Simón Bolívar de la Universidad de Panamá y la colección Panamá de los archivos de la Comisión del Canal de Panamá.

La información recopilada en los anteriores archivos fue incorporada en un banco de temblores que se diseñó especialmente en este proyecto. En el banco de temblores también se incluyó la información disponible en diferentes fuentes de información y referencias previamente publicadas.

En relación con los trabajos previamente existentes, se han incorporado al banco de temblores la información pertinente de las publicaciones de los siguientes autores: Díaz (1933, 1981), Leeds (1974), Carr (1978), Sutch (1984), Viquez y Toral (1984), Larios (1984), Boschini (1987), Montero & Alvarado (1988), White & Cifuentes (1988), Feldman (1988a,b), Montero (1989), Incer (1990), Peraldo & Montero (1994) y Grases (1974). Muchos de los anteriores trabajos son recopilaciones de sismos históricos de carácter regional y otros tienen un alcance nacional.

4.2 INVESTIGACIONES DE LA SISMICIDAD HISTORICA DE AMERICA CENTRAL

La información contenida en el catálogo de temblores históricos junto con los documentos de los archivos investigados, se ha interpretado o reinterpretado según el estado del conocimiento del evento específico. Los documentos recopilados han sido transcritos e interpretados desde el punto de vista sismológico y parcialmente desde el punto de vista histórico. Este análisis ha aportado nuevos e importantes datos para el estudio de la sismicidad y la amenaza sísmica en América Central.

Con base en la información disponible para cada evento histórico, se han asignado parámetros tales como intensidades (MM) para lugares donde se reportan daños, fuente generadora, epicentros, profundidades y magnitudes macrosísmicas a partir de intensidades máximas o áreas de máxima intensidad, entre otros parámetros focales relevantes. Esta información se ha incorporado en el catálogo de temblores **CATASIS**, que se describe más adelante.

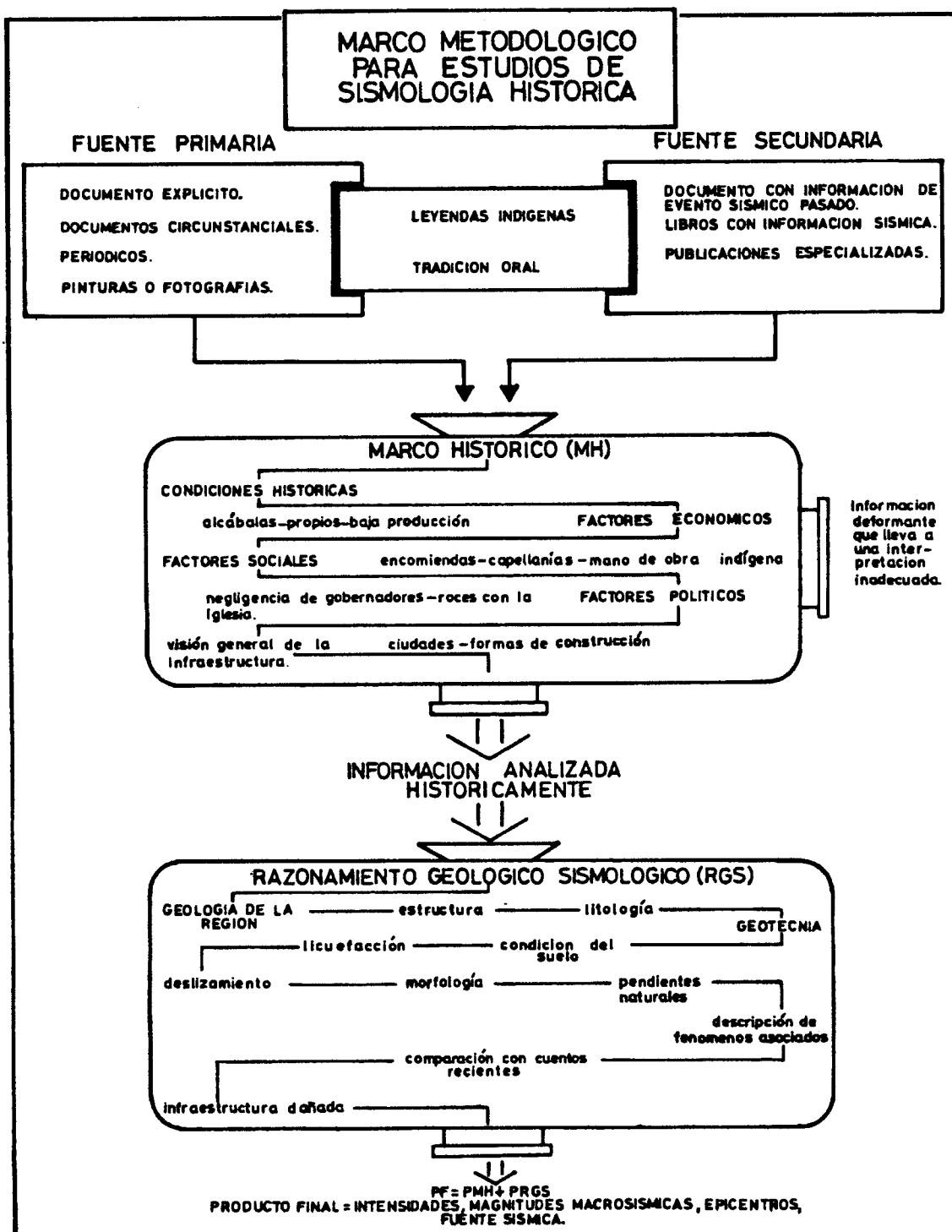
El estudio se ha realizado para toda la región de América Central, excepto Belice. Se ha cubierto el periodo de 1500 a 1899. Como resultado de de estos análisis de la sismicidad histórica de América Central se realizará una publicación especial que está en vía de preparación.

4.2.1 METODOLOGIA Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACION DE SISMOS HISTORICOS

En los estudios de sismología histórica es fundamental, en la medida de lo posible, consultar fuentes primarias (documentos) para definir sobre ubicación temporal y geográfica y para llegar a una mejor interpretación histórica y sismológica de los datos. La interpretación sismológica la realizan actualmente Walter Montero y Giovanni Peraldo.

La metodología que se empleó se muestra en la figura 1. Como se mencionó, la investigación de fuentes primarias permitió la obtención de los mejores datos sobre eventos sísmicos históricos. Es así como la investigación documental jugó un papel muy importante para obtener los más adecuados resultados respecto a la sismología histórica de la región. Peraldo (1993a y b) indica que si únicamente se investiga en fuentes bibliográficas, se corre el peligro de arrastrar errores tales como confusión de fechas o hasta confusión de fenómenos.

Fig 1: Marco metodológico para estudios de sismología histórica (Peraldo, 1993)



La visión del sismólogo y del historiador son fundamentales para interpretar adecuadamente el discurso del documento como lo mencionan Quirós (1992) y Peraldo (1993 a y b) respectivamente. Ellos indican que se debe cuestionar el documento desde el punto de vista

b) respectivamente. Ellos indican que se debe cuestionar el documento desde el punto de vista histórico y, enmarcar la ocurrencia del evento geológico dentro del contexto histórico en el cual el fenómeno tuvo lugar; esto permite mejorar el criterio profesional cuando se interpreta el fenómeno geológico.

Peraldo (1993 a) indica que cuando se lee un documento, hay que tomar en cuenta los siguientes puntos: (1) Analizar críticamente el discurso del documento. (2) Verificar que el documento haya sido escrito en una época cercana al evento que interesa o por el contrario este hace una crónica de hechos pasados. (3) Analizar el documento para determinar la posible parcialización del mismo hacia algún sector social o si existen intereses económicos, políticos o personales que pueden estar distorsionando la veracidad del discurso. El análisis del documento, tomando en cuenta los anteriores puntos es imprescindible, porque nos indica si el fenómeno geológico fue manipulado para conseguir un fin específico.

Con base en la información disponible para cada evento histórico, se han asignado parámetros tales como intensidades (MM) para lugares donde se reportan daños, fuente generadora, epicentros, profundidades y magnitudes macrosísmicas a partir de intensidades máximas o áreas de máxima intensidad. En el apéndice 3 se presenta en un cuadro los eventos sísmicos evaluados o reevaluados por los autores del presente catálogo. En las figuras 2 a 7 se muestran ejemplos de temblores con interpretaciones macrosísmicas de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua.

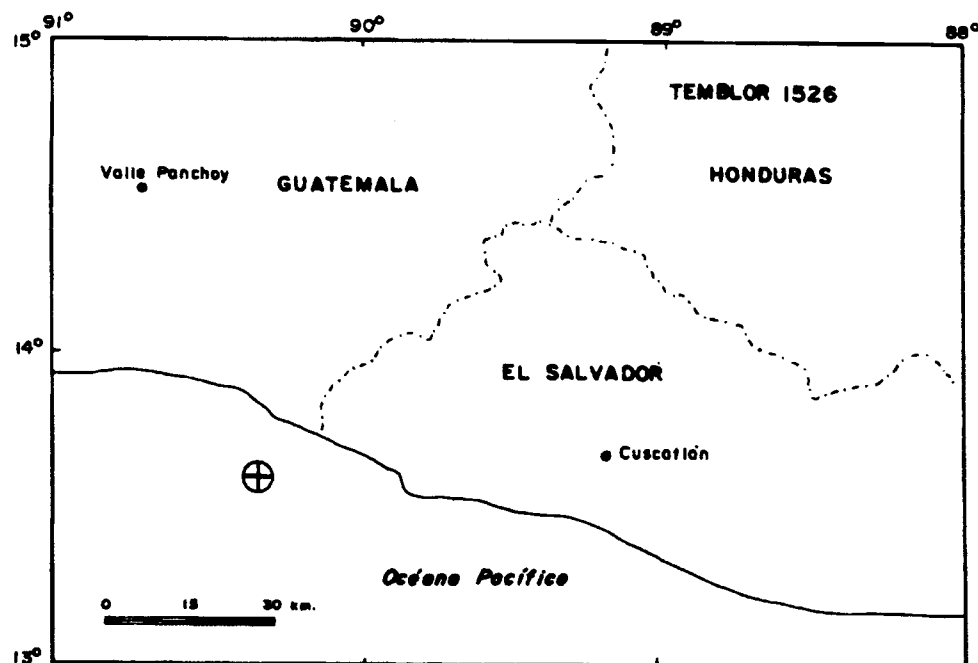


Fig 2: Temblor de 1526, Guatemala y El Salvador.

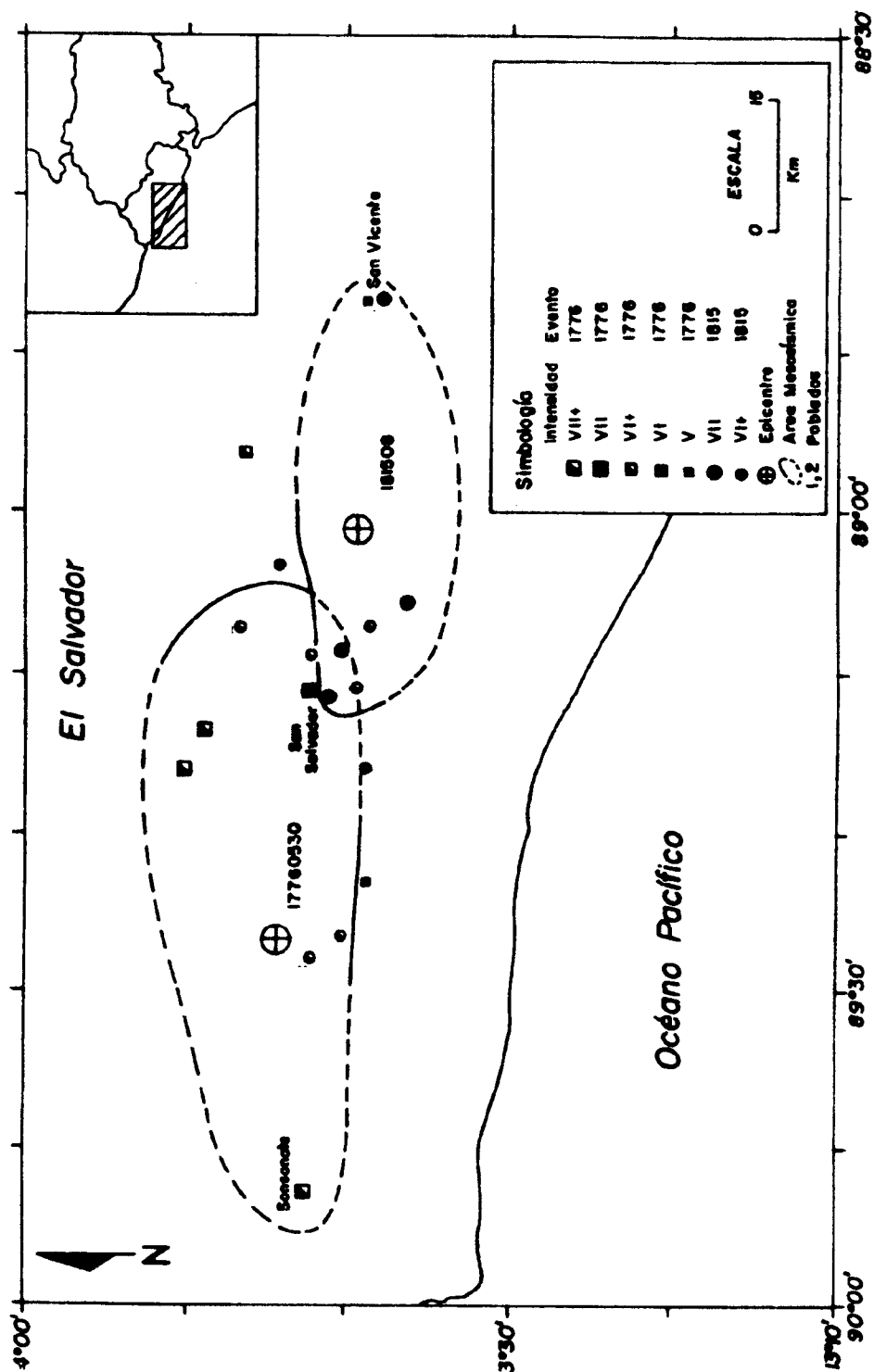


Figura 3: Mapa de intensidades para los terremotos de 1776 y 1815 de El Salvador.

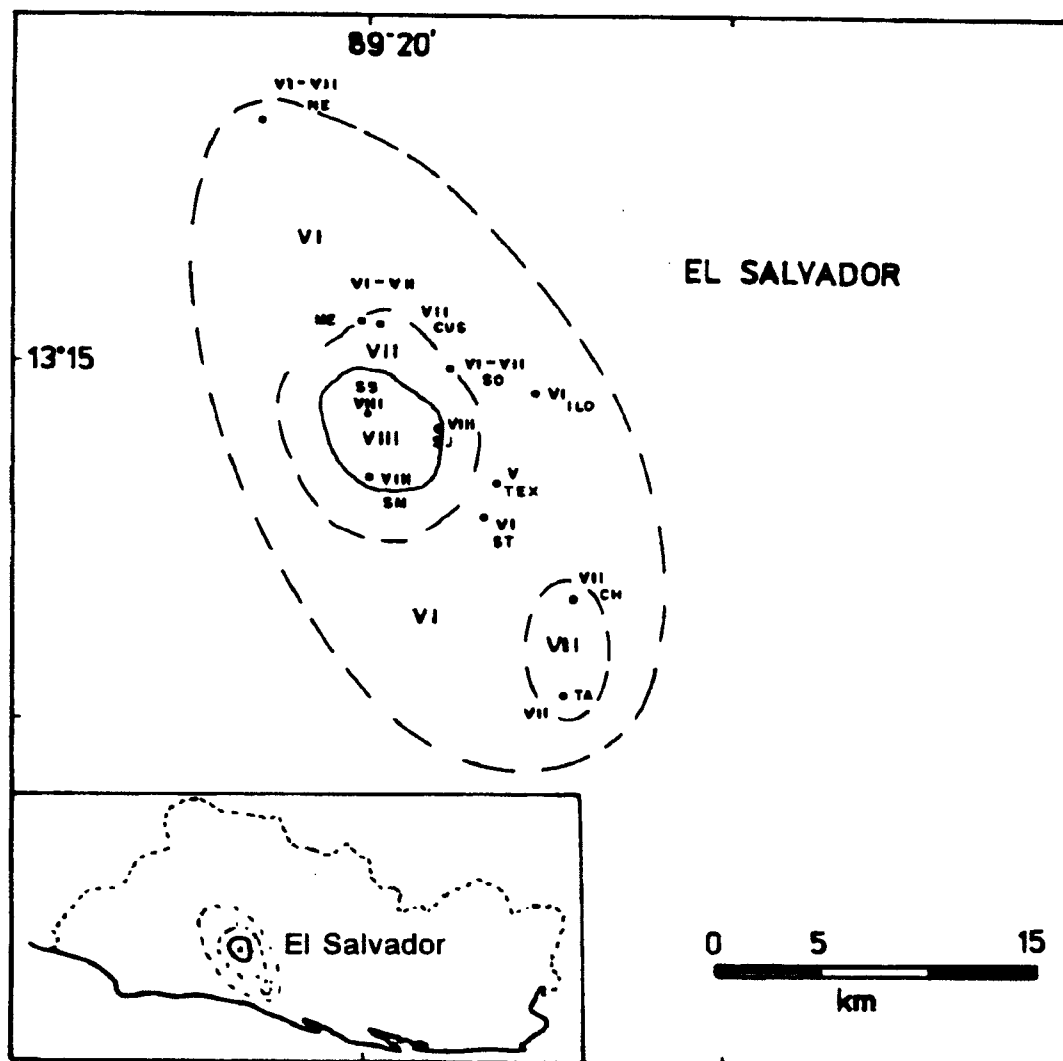


Figura 4: Mapa de intensidades del temblor del 16/04/1854, El Salvador

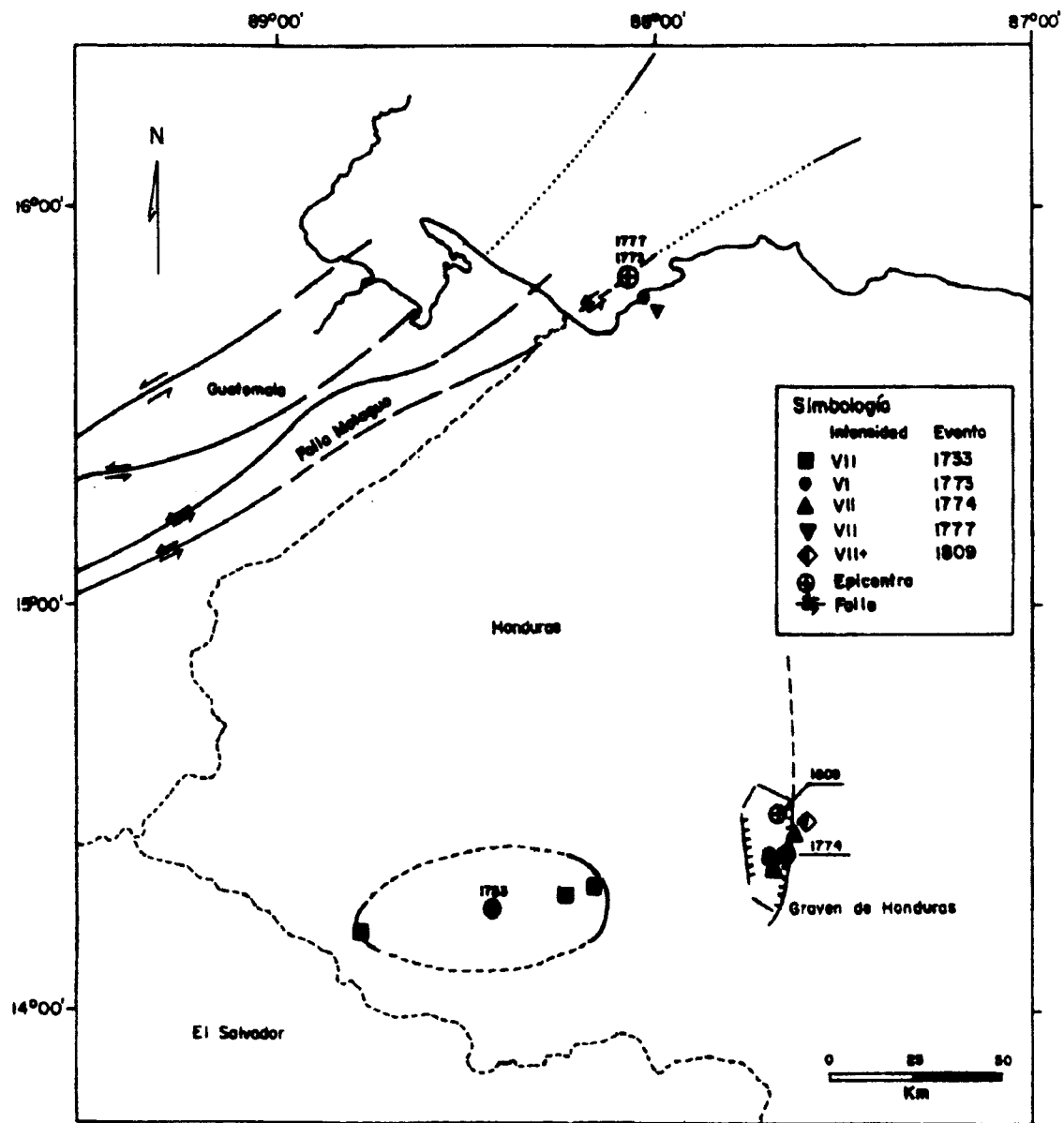


Figura 5: Mapa de sismos históricos de Honduras 1733-1809

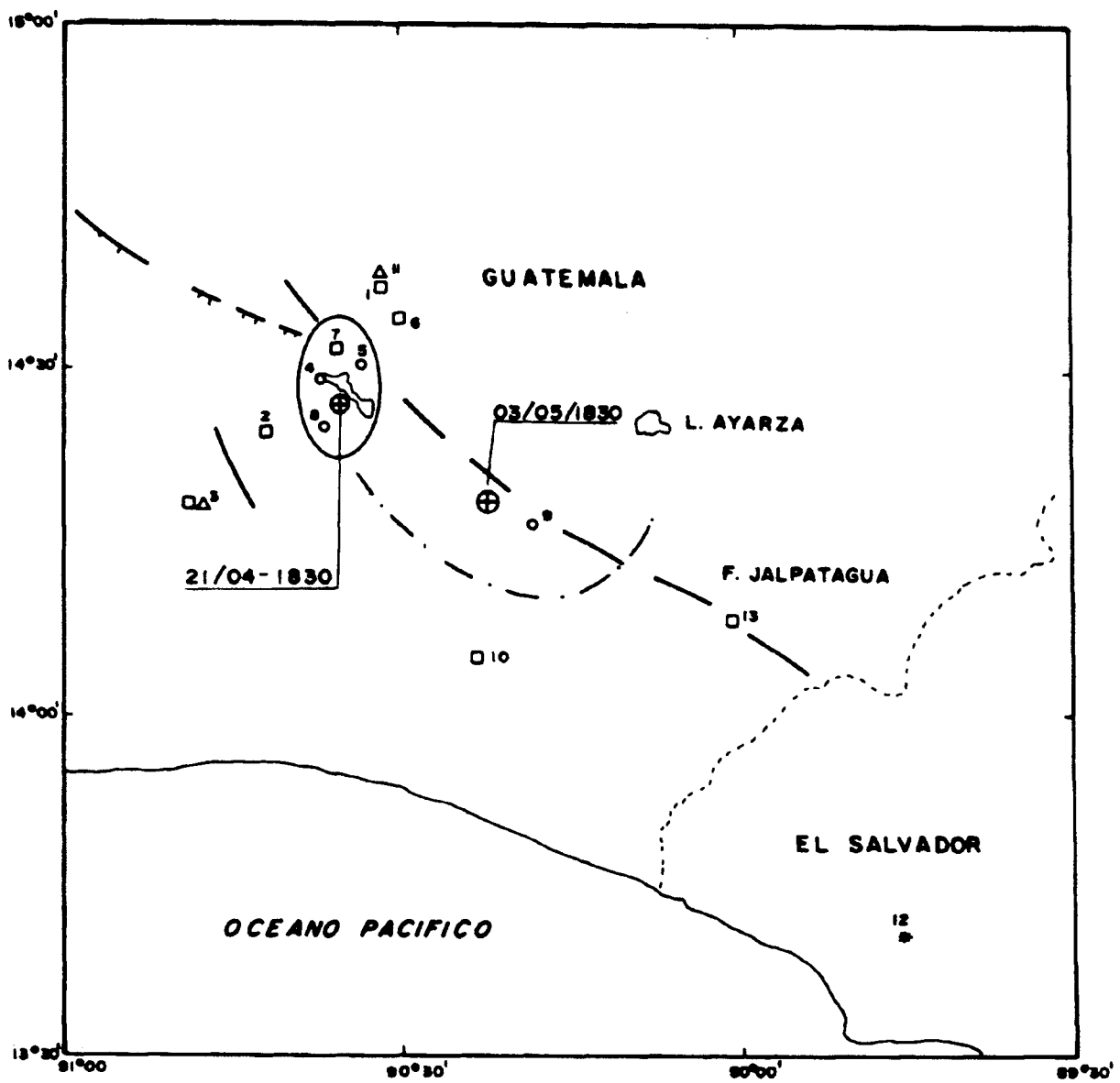


Fig 6: Mapa de intensidades para los sismos de mayo de 1830, Guatemala.

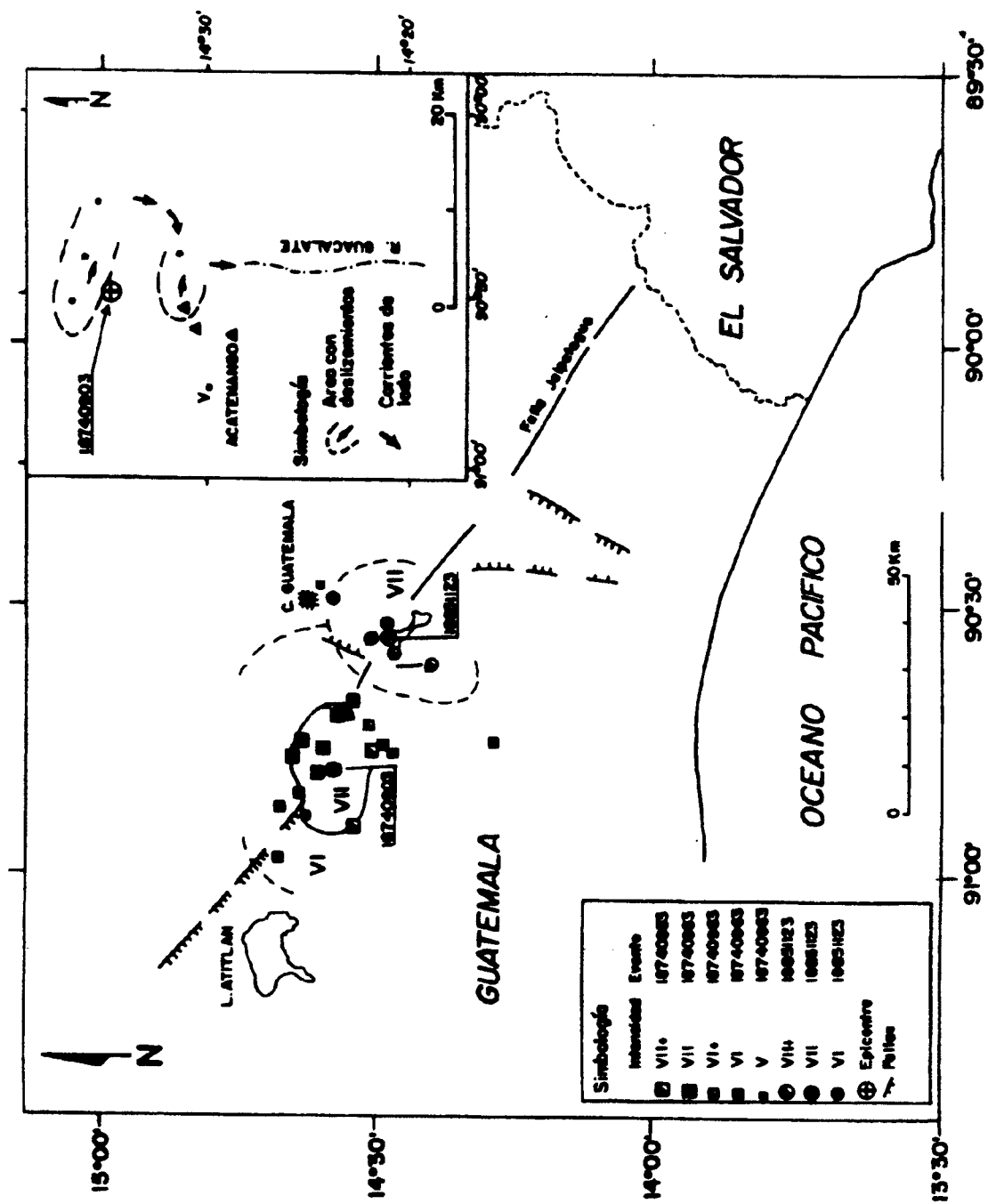


Figura 7: Mapa de intensidades para los sismos de 1874 y 1885, Guatemala

4.3 CATALOGO INSTRUMENTAL

El nuevo catálogo de los sismos localizados instrumentalmente, fue iniciado en 1991 en el Norwegian Seismic Array (NORSAR), Noruega, y estuvo a cargo del Geól. Wilfredo Rojas Q., de la Escuela Centroamericana de Geología. Para elaborar la base de temblores, se usaron un gran número de reportes y catálogos disponibles en diferentes agencias sismológicas. Para implementar el catálogo, se desarrolló un nuevo formato, que incluye los parámetros focales usuales, más una gran variedad de datos macrosísmicos, así como información adicional asociada a los eventos tales como descripciones de los terremotos, referencias y otros.

La información instrumental del catálogo, parte de 1902 y actualmente esta actualizado hasta el 199. En la región de Centro América, el primer evento sísmico localizado en forma instrumental, fue el terremoto de 1902 ($M_s=7.9$), ocurrido en la costa pacífica de Guatemala.

Hay sismos someros, asociados al arco volcánico de América Central, que a pesar de haber ocurrido dentro del período instrumental, no fueron registrados en los catálogos internacionales. Sin embargo, en el catálogo elaborado se han incluido gracias a las observaciones y datos macrosísmicos recopilados de diversas fuentes.

Los primeros equipos sismográficos que se instalaron en América Central, fueron los péndulos Duplex Ewing, que se ubicaron en 1888 en San José de Costa Rica. En 1896 se instaló el mismo tipo de instrumentos en El Salvador. En 1925 fueron instalados en Guatemala dos sismógrafos mecánicos tipo Wiechert. En Panamá el primer sismógrafo fue instalado por la segunda Compañía Francesa del Canal, en setiembre de 1900. En Nicaragua el primer instrumento fue instalado en 1966 y consistió de un acelerógrafo.

A principios de los setentas, los seis países centroamericanos instalaron sus propias redes sismográficas y centros de registro. Recientemente se ha establecido una estrecha cooperación regional, organizada a través del CEPREDENAC, incluyendo un abierto intercambio de información, con producción de un boletín sismológico regional integrado.

Los datos han sido integrados mediante la definición de un formato, lo bastante flexible para acomodar tanto la parte instrumental original, como los datos históricos y macrosísmicos recopilados, con la posibilidad de ampliar la información en el futuro. El resultado ha sido el denominado "Formato Nórdico". El mismo se describe en Rojas (1993).

Las anteriores características de la base de datos, permiten evaluar el potencial sísmico de la región entera, así como individualmente por país. Como resultado de este catálogo y empleando una serie de programas que admiten el anterior formato, se pueden obtener:

- Distribuciones espacio-temporales de la sismicidad.
- Análisis de completitud.
- Mapas de sismicidad.
- Perfiles de hipocentros.
- Relaciones comparativas entre diversas magnitudes y homogenización de la magnitud.

- Comparaciones entre magnitudes e información macrosísmica.
- Obtención probabilística y determinística de índices de sismicidad y otros parámetros de las fuentes sísmicas.
- Análisis de amenaza sísmica, a nivel regional o para sitios específicos.

Debe recalcar que dado que muchas veces existen varias localizaciones para un mismo evento, existe la posibilidad de seleccionar los temblores de acuerdo a un orden de prioridades previamente establecido por el investigador, de forma tal que a la hora de realizar un análisis de amenaza, el catálogo que se vaya a utilizar no incorpore entradas duplicadas para un mismo evento. De esta manera, se incorpora en el análisis los mejores datos hipocentrales de acuerdo a un criterio selectivo.

5. EL SOFTWARE

En relación al software utilizado en el proyecto, describiremos los programas utilizados en las dos actividades principales del proyecto. Esto es, el software utilizado en la elaboración del banco de temblores, así como el que se usó para la estimación de la amenaza sísmica.

5.1 DESCRIPCION DEL SOFTWARE USADO EN LA ELABORACION DEL BANCO DE TEMBLORES

Para elaborar el banco de temblores de América Central se usaron dos programas de cómputo compatibles entre sí. En la parte histórica se diseñó un programa nuevo, en el cual se incorporó toda la información existente sobre temblores anteriores a 1900. En relación a la parte instrumental esta se encuentra incluida en una base de temblores, cuyo programa fue elaborado por NORSAR. El trabajo correspondiente a la entrada de datos fue realizado por el Lic. Wilfredo Rojas, de la Escuela de Geología. Dado que el programa que se usó en este caso, fue elaborado y desarrollado dentro de las actividades de otro proyecto, no nos referiremos en adelante al mismo. Los interesados pueden consultar los trabajos de Rojas (1993) y Rojas et al (1993).

5.2 SOFTWARE DESARROLLADO PARA EL BANCO DE TEMBLORES HISTORICO

Uno de los frentes de trabajo que se realizaron en este proyecto, consistió en la elaboración de un programa de computación, como soporte lógico para los datos sismológicos que se incluyeron dentro de la base de temblores histórica que se realizó. El programa realizado se llamó **CATASIS**. El programa ejecutable **CATASIS.EXE** incluye dos bases de datos sismológicos: **CATASIS.DBF** y **CATASIS.DBT**, que se describen adelante. Este programa puede ser manejado en cualquier PC IBM o compatible 286 en adelante. La base de datos macrosísmicos **CATASIS.DBF** consta de 0,9 Mbytes y la base de datos **CATASIS.DBT** de 3,25 Mbytes.

La base de datos CATASIS fue programada por Jaime Brenes. El Geol. Luis Obando fue el supervisor del programa elaborado por el Sr. Jaime Brenes. El diseño del programa estuvo a cargo de Walter Montero y de Giovanni Peraldo.

La base de datos contiene información macrosísmica e instrumental de la región de América Central. La base de datos está confeccionada en el lenguaje de programación **CLIPPER summer' 87**. Tiene tres módulos en cada uno de los cuales se ubica información con afinidad temática. En el primer módulo se incluyen los datos hipocentrales, en el segundo módulo se incluyen los datos macrosísmicos y en el tercer módulo se incluyen los datos de intensidades sísmicas. Además cuenta con un procesador de palabras para notas.

5.2.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA "CATASIS"

El programa CATASIS, es un sistema integrado, por lo cual no es necesario salir de un archivo o base de datos para ingresar a otro, ya que el programa se encarga automáticamente de cambiar de base de datos, con solo desplegar una leyenda que pregunta al usuario si desea incluir datos en la base siguiente.

El programa se compone de los siguientes archivos:

-CATASIS.EXE	Es el archivo ejecutable.
-CATASIS.DBF	Es la base de datos sismológica que se subdivide en las bases: Datos Hipocentrales, Datos Macrosísmicos y Distribución de Intensidades.
-CATASIS.DBT	Es el archivo de texto, que es información de apoyo básicamente para los temblores históricos.
-CATASIS.NTX	Es un archivo de índices.
-CATASIS.001	Es el archivo en la cual se guarda la información de la palabra de paso principal.
-CATASIS.002	Es un archivo para información de la palabra clave para el comando INCLUIR .
-CATASIS.003	Es un archivo para información de la palabra clave del comando MODIFICAR .
-CATASIS.004	Es un archivo para información de la palabra clave del comando ELIMINAR .

Se despliega en pantalla tres conjuntos sucesivos de datos, ordenados por su afinidad de información, en **DATOS HIPOCENTRALES**, **DATOS MACROSISMICOS** y **DISTRIBUCION DE INTENSIDADES**; además existe un procesador de textos para incluir las respectivas notas y transcripciones de los diferentes eventos sísmicos.

En el apéndice 4 se muestra la descripción de las entradas y el formato del catálogo del programa CATASIS, además de los comandos más importantes para el manejo del programa.

5.2.2 ACCESO Y COSTO DE DISTRIBUCION DEL PROGRAMA CATASIS

El programa CATASIS es de libre acceso para todos aquellos investigadores o entidades, que deseen hacer un uso no comercial de la información contenida en el software. Solamente se deberán cubrir los costos de envío.

5.3 SOFTWARE UTILIZADO EN LA ESTIMACION DE LA AMENAZA SISMICA

En relación al software que se aplicó en la estimación de la amenaza sísmica de América Central, se usó una versión modificada respecto al programa que originalmente escrito por McGuire (1976). El programa se denomina NPRISK, versión 1,0 y fue adaptado por Dahle (1994).

6. ESTIMACION DE AMENAZA SISMICA

6.1 METODOLOGIA

Para la estimación de la amenaza sísmica se siguió uso como es usual, un enfoque probabilístico que contiene los lineamientos propuestos originalmente por Cornell (1968). En este tipo de estudios los elementos principales para la caracterización de la amenaza en un determinado sitio, son la existencia de un catálogo sísmico que este completo arriba de un cierto nivel de magnitud, la definición de las fuentes sísmicas que existen en una determinada región y una ley de atenuación de la energía sísmica.

La probabilidad de excedencia arriba de un determinado nivel del movimiento del terreno, en un sitio específico y en un determinado tiempo se asume que es un proceso de Poisson. Esto es, no tiene memoria de eventos pasados o futuros ni espacial ni temporalmente, y por consiguiente los eventos son independientes entre si. Por lo tanto, la probabilidad de tener un movimiento del suelo de nivel Z que exceda z en un sitio definido por unidad de tiempo, se expresa como:

$$P(Z > z) = 1 - e^{-v(z)} \quad (1)$$

donde $v(z)$ significa el número de sismos por unidad de tiempo en el cual Z excede z , y de acuerdo con un modelo de zonificación determinado. La recurrencia de sismos se asume que sigue la relación de Gutenberg y Richter (1954):

$$\log N(M) = a - b \cdot M \quad (2)$$

donde $N(M)$ es el número de eventos por año con magnitud mayor o igual a M . En este estudio nosotros usamos una relación doblemente truncada. Es decir, definimos un valor de magnitud mínima M_{\min} y un valor de magnitud máxima M_{\max} , para cada una de las fuentes sísmicas. M_{\min}

en este estudio se escoge es $4,5 M_w$, la magnitud mínima que puede causar daños en construcciones. El valor b indica la razón entre los eventos pequeños y los grandes, que varía para las diferentes fuentes escogidas y a es el número de temblores con magnitud M_{min} .

6.1.1 CONSIDERACION DE INCERTIDUMBRES

El cómputo de la amenaza sísmica ha sido efectuado con base en un formalismo del "árbol de la lógica", según una metodología que fue establecido recientemente por Dahle (1994), donde todos los parámetros son dados con dos valores extremos y un valor central, con un peso de probabilidad asignado a cada uno de ellos. Los valores extremos de " b " se consideraron sumando y restando un valor de 0.15 al valor central, con pesos de 20 %, 60 % y 20%. Los valores extremos para N , se obtienen dividiendo y multiplicando el valor central por 2, con pesos de 0.2, 0.6 y 0.2. A la magnitud máxima se le da una incertidumbre inferior de 0.3 y una incertidumbre superior de 0.2, con pesos de 20%, 60% y 20%. A la profundidad, generalmente se le asignó pesos probabilísticos de 0.25, 0.5 y 0.25, donde los valores extremos se deciden considerando la profundidad estimada de los bordes superior e inferior de la zona sísmica.

Empleando este método, es además factible la consideración de rangos de incertidumbre para las constantes de la relación de atenuación. Para este caso se emplearon los valores centrales con un peso del 40%, con incertidumbres superiores y menores de 0.3.

6.1.2 COMPLETITUD

Cuando se usa un catálogo sísmico para la estimación probabilística de los movimientos fuertes del terreno, es importante el análisis de completitud de las magnitudes de los temblores, porque si se emplea un conjunto de datos incompletos, puede afectarse significativamente los resultados de la estimación final de la amenaza sísmica.

Hay diversos métodos disponibles para determinar la completitud, pero muchos de ellos son puramente estadísticos, con base en supuestos que no siempre están acordes con el comportamiento natural de la sismicidad. Se considera completa una muestra cuando la distribución de las magnitudes de los temblores es homogénea a partir de un año determinado. Para determinar lo anterior, se analizó la sismicidad del catálogo mediante gráficos de distribución de magnitudes en función del tiempo, con lo cual se concluye lo siguiente:

a) Se presenta un marcado incremento en la sismicidad, a partir de los años 1960, debido a la instalación de la Red Sismológica de Apertura Mundial (WWSSN).

b) Se presenta una importante contribución en los datos de eventos locales de bajas magnitudes, entre los años 1970 y 1980, esto es debido a la instalación de las nuevas redes sísmicas locales, en diversos países de América Central.

- c) A partir de 1910 el catálogo parece ser completo, para eventos de magnitud mayor de 6.2 (M_w).
- d) A partir de 1950, el catálogo parece ser completo para magnitud mayor que 5.3 (M_w).
- e) Desde 1963 el umbral de magnitud es de 4.2 (MW), a excepción de algunas zonas sísmicas que es de 4.6 (M_w).

6.2 PRESENTACION DEL MODELO, DESCRIPCION DE LAS FUENTES SISMICAS

La zonificación sísmica de América Central se basó inicialmente en los resultados obtenidos del Taller de Regionalización Sísmica descrito anteriormente. Luego la misma fue modificada por Rojas et al. (1993b). Las fuentes sísmicas han sido definidas de acuerdo a su estilo neotectónico, sismotectónico y a su extensión geográfica (Fig. 8). Se consideraron los principales elementos estructurales de la región; a continuación se describen brevemente cada uno de estas zonas:

1- Zona de subducción Centroamericana

Incluye los sismos superficiales y de profundidad intermedia, que ocurren a lo largo de la placa subducida del Coco, en la parte suroeste de México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. En esta fuente sismogénica es donde ocurren la mayoría de los grandes terremotos históricos de Centroamérica. Esta placa subducida se divide en segmentos, cada uno con una geometría diferente de la zona de Benioff. La subducción comienza desde la depresión denominada Trinchera Mesoamericana, donde el fallamiento predominante es de tipo inverso entre los 5 y 40 km de profundidad.

La zona de Benioff termina al sur de Costa Rica, donde se hace difusa a partir del momento en que el levantamiento asísmico del Coco interactúa con la parte continental de Costa Rica. Al este del levantamiento del Coco se encuentra la zona de fractura de Panamá, que es un sistema de falla transformada, que separa la placa de Coco de la de Nazca. Finalmente, el extremo norte de la placa Nazca, se subduce oblicuamente bajo el suroeste del istmo de Panamá.

La zona de deformación del arco externo, se localiza entre la Trinchera Mesoamericana y la cadena volcánica; esa área es modelada como una fuente sísmica somera de subducción (figura 9).

2- Arco Volcánico de Centroamérica

Es una área geológicamente compleja y heterogénea; se caracteriza por la ocurrencia de eventos sísmicos superficiales de moderada y baja magnitud, que generan importantes daños. Las rupturas asociadas a esta zona sísmica, son generalmente de desplazamiento lateral, de dirección transversal o longitudinal al arco volcánico.

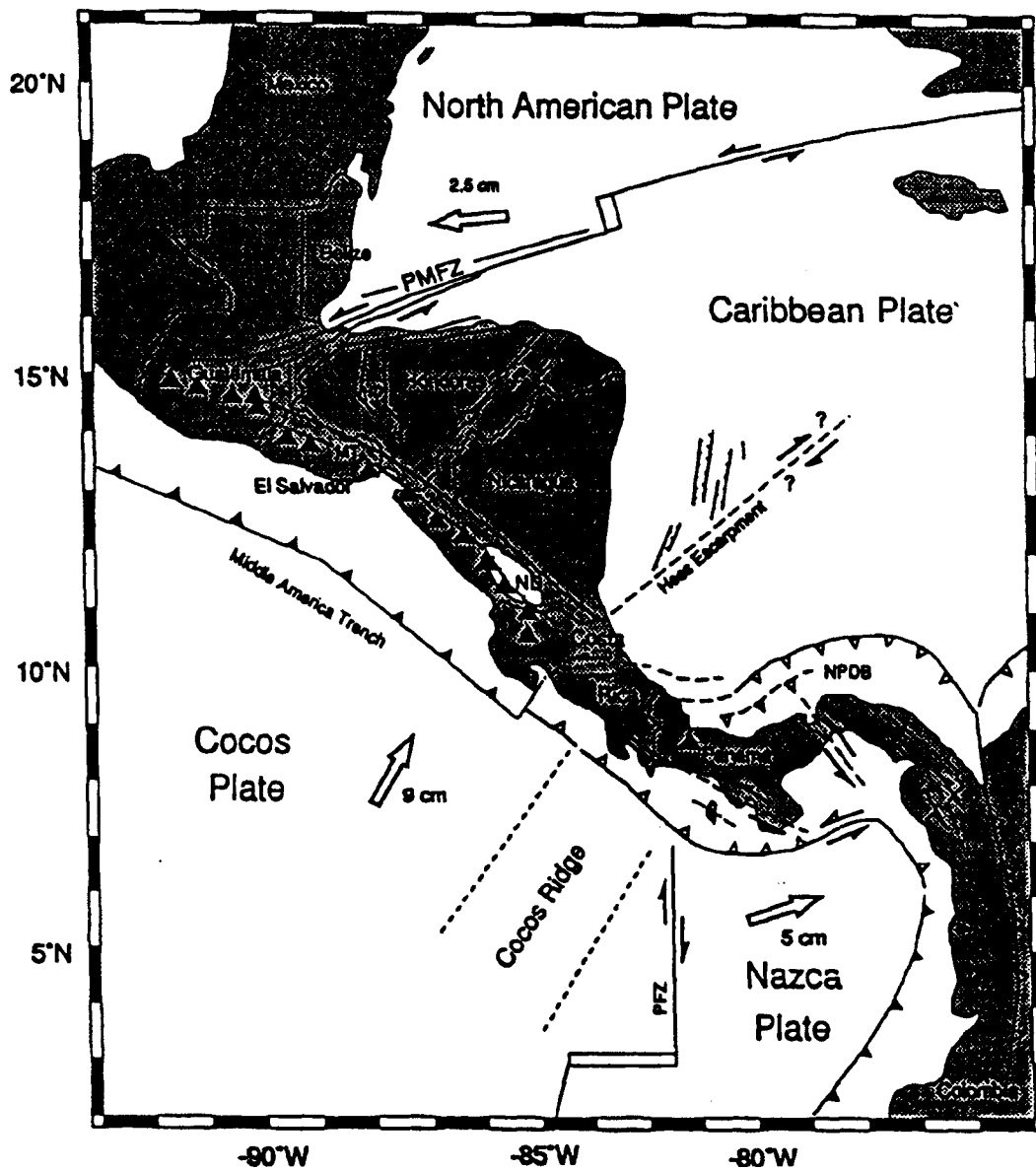


Fig 8: Marco geotectónico de América Central.

Ejemplos de terremotos asociados a esta fuente sísmica, son los de Managua, Nicaragua del 23 de diciembre 1972 ($M_s = 6.2$) y el de San Salvador, del 10 de octubre de 1986 ($M_s = 5.4$).

3- Sistema de fallamiento Polochic-Motagua

Constituye el límite transformado noroeste entre las placas Norteamericana y Caribe. El movimiento a lo largo de este borde, es lateral izquierdo (Molnar y Sykes, 1969; Kiremidjian et al., 1979).

4- Sistema de fallamiento Guayape

Este sistema se localiza al este de Honduras; predominan las fallas de desplazamiento lateral de dirección NE. Presenta un muy bajo grado de sismicidad, pero de acuerdo a Finch y Ritchie (1991), las fallas de Guayape muestran evidencia de desplazamientos recientes (Holoceno).

5- Sistema de fallas de la Depresión de Honduras

Se incluyen acá los grábenes cuaternarios, que se ubican dentro de la región intraplaca de corteza continental antigua. Estos grábenes tienen fallamiento oblicuo y normal en echelon (Manton, 1987).

El catálogo de terremotos de Honduras, indica que en el pasado, han ocurrido eventos sísmicos moderados, dentro de estas zonas deprimidas, tales como son los temblores ocurridos en setiembre y noviembre de 1851.

6- Graben de Nicaragua

Consiste en una zona deprimida, limitada al oeste por el arco volcánico; se extiende desde el sureste de Guatemala hasta el norte de Costa Rica. La depresión tiene unos 50 km de ancho en Nicaragua y en ella están ubicados los lagos de Managua y Nicaragua.

De acuerdo al catálogo sísmico, el evento sísmico más relevante, asociado a esta zona sísmica, fue uno ocurrido en 1928, de magnitud 6.5 (M_s).

7- Zona trasarco del Caribe de Centroamérica

La estructura más prominente de esta zona es el Escarpe de Hess, el cual es un fuerte lineamiento batimétrico de dirección NE, que separa una región extensional al norte, de una con tectónica contraccional al sur (referencia, figuras 8 y 9). Esta región presenta un bajo nivel de actividad sísmica.

8- Cinturón deformado del Caribe de Panamá

De acuerdo a Montero et al. (1994), esta región se puede subdividir en tres diferentes zonas sismotectónicas:

8.1 Segmento Central: se caracteriza por una ausencia casi total de actividad sísmica.

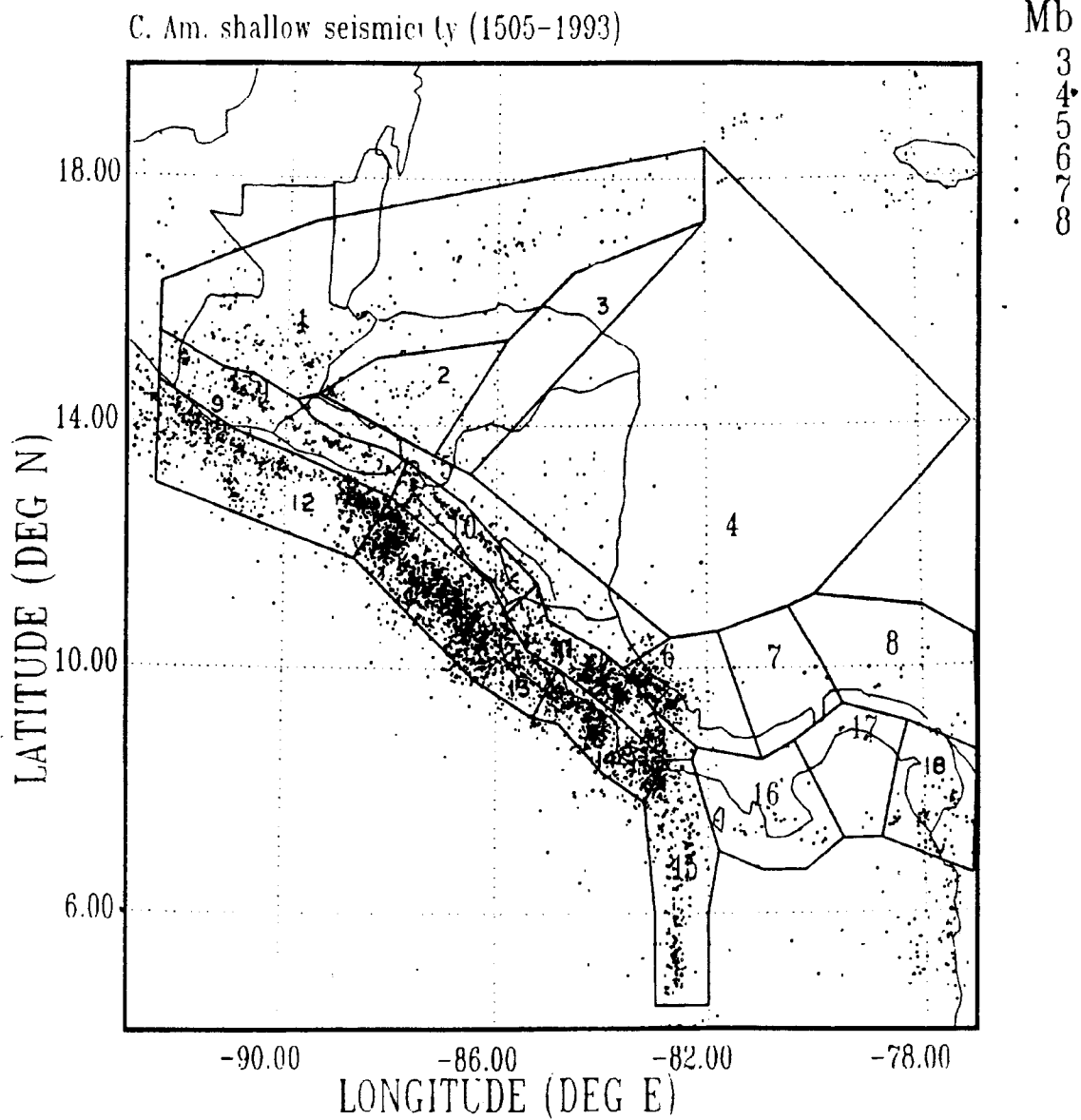


Figura 9: Areas de fuentes sismicas para profundidades entre 0 a 40 km.

8.2 Cinturón Deformado del Noroeste de Panamá: este es el segmento occidental del Cint. Def. de Panamá, se extiende desde la región de Bocas del Toro hasta Puerto Limón en Costa Rica.

8.3 Cinturón Deformado del Noreste de Panamá: Han ocurrido importantes terremotos históricos, siendo el más relevante el sismo tsunamogénico de 1882.

9- Zona de Fractura de Panamá

Es un sistema de fallamiento transformado dextral, que se ubica al sur de Chiriquí y es el límite oeste entre las placas Coco y Nazca. Esta zona ha sido sacudida durante el presente siglo, por dos eventos con magnitudes M_s mayores a 7.0: el 10 de agosto de 1927 y el 18 de setiembre de 1962.

10- Zona sísmica del suroeste de Panamá

La sismotectónica del suroeste de Panamá está dominada por subducción oblicua y existe un sistema de fallamiento superficial de desplazamiento lateral izquierdo, en dirección ESE. Esta región muestra una actividad sísmica un poco mayor, comparada con la parte más quieta del centro del país.

11- Zona central del sur de Panamá

En el registro histórico, se han reportado muy pocos sismos grandes, lo que dificulta la determinación de su periodos de retorno.

12- Zona de sutura del Atrato

Esta es una zona colisional, que se localiza al este de Panamá, abarcando la parte fronteriza con Colombia. Se caracteriza por rupturas de deslizamiento lateral y por fallamiento inverso, pero la sismicidad es difusa. En el presente siglo han ocurrido varios terremotos, como los ocurridos en 1974 y 1976, con magnitud 7.1 y 7.0 M_s (Camacho y Viquez, 1994).

13- Zona de subducción intermedia

Esta zona incluye la sismicidad con profundidad mayor que 40 km (figura 10). Los eventos de profundidad intermedia están relativamente concentrados en Guatemala, El Salvador y Nicaragua, donde generalmente tienden a ser más profundos que en Costa Rica.

La sismicidad de esta zona de subducción intermedia, se ha dividido en tres intervalos de profundidad:

- Fuente con eventos de profundidades entre 40 y 70 km.
- Fuente con eventos de profundidades entre 70 y 110 km.
- Fuente con eventos de profundidades entre 110 y 200 km.

La sismicidad con profundidades entre 40 y 70 km se define acá como la zona de subducción frontal (ver figura 11, la zona 19).

Las zonas 20 y 22 corresponden con la subducción central. La zona 23 con sismicidad de profundidad > 40 y < 70 km que se localiza en la parte caribe de Centroamérica. Se definió esta zona con el fin de considerar la actividad sísmica que no es cubierta por las zonas corticales.

PRINCIPLE OF CRUSTAL AREA ZONATION WITH DEPTH

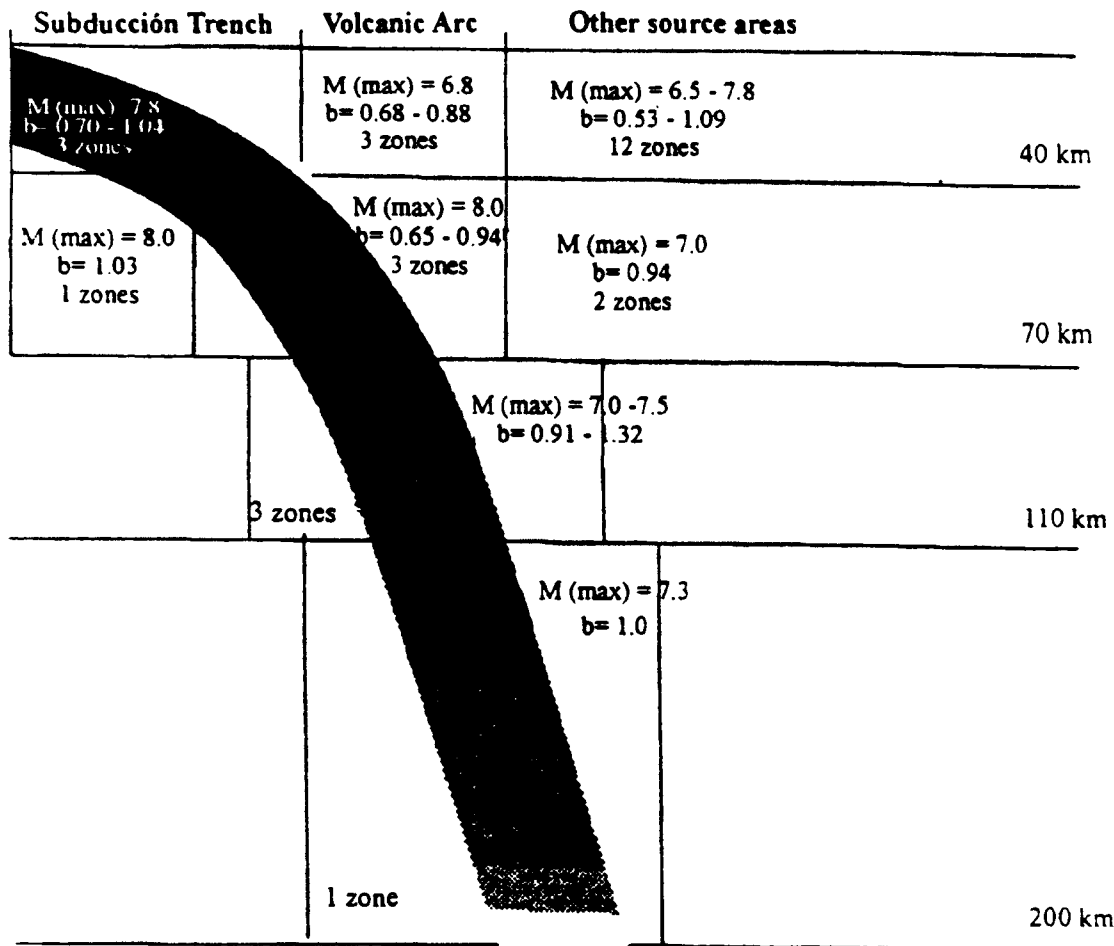
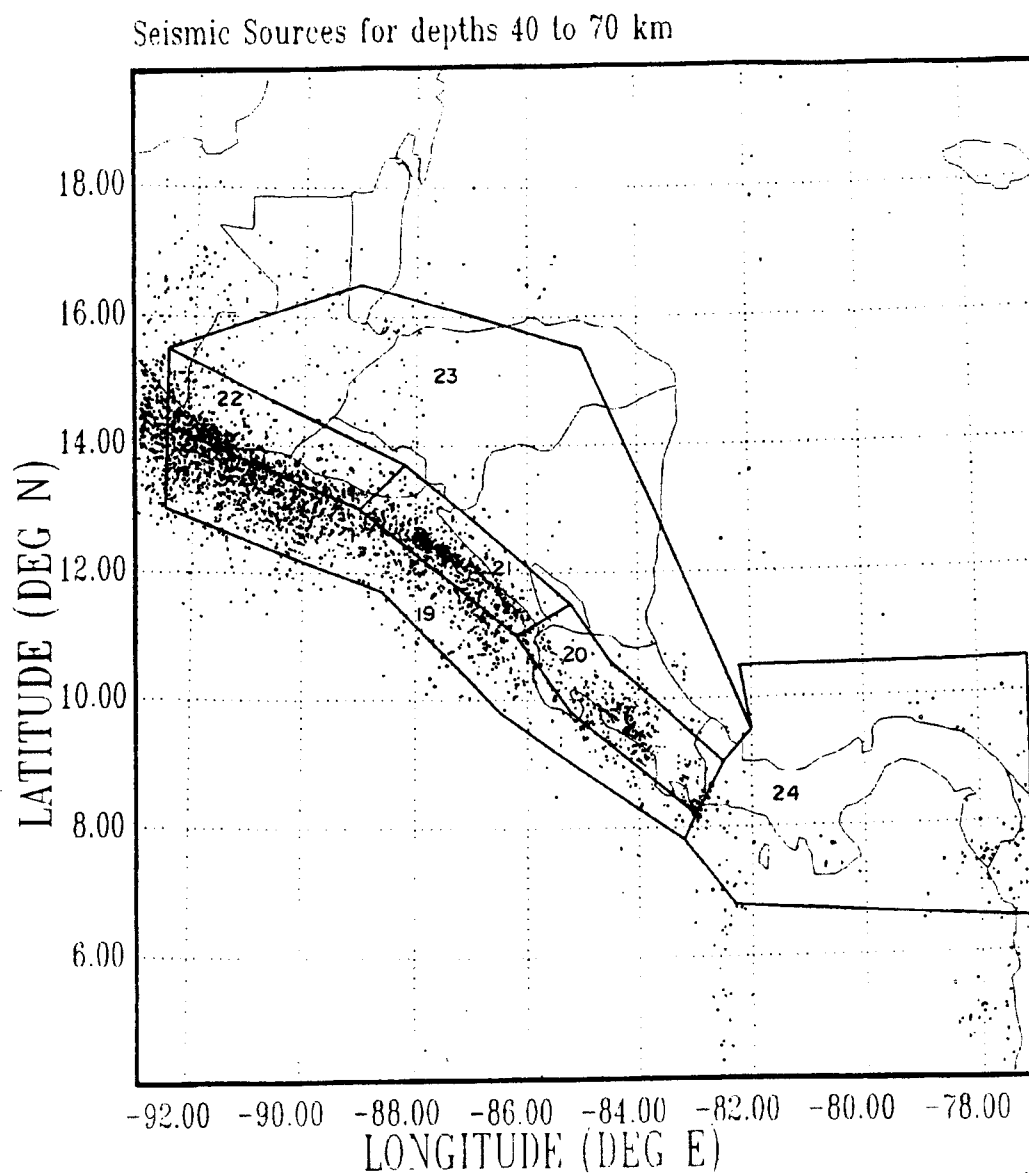


Fig. 10. Perfil de las fuentes sísmicas definidas por la actividad sísmica a lo largo de la placa subducida.

Finalmente la zona 24 que se ubica en Panamá, cubre los eventos sísmicos que están relacionados a la subducción debajo de Panamá. La sismicidad con profundidades entre 70 y 110 km incluye las zonas 25 a 26 de la zona de subducción.

Tal como se muestra en la figura 12, estas zonas cubren la parte central de la sismicidad intermedia de la placa del Coco. También incluye la zona 27 de sismicidad intermedia que se ubica debajo del istmo de Panamá.

La sismicidad con profundidades entre 110 a 200 km. Incluye la zona 28, que es la parte más profunda de la sismicidad intermedia. Como se muestra en la figura 13, esta zona todavía



Mb
3
4
5
6
7

94/10/25 15:11

Figura 11: Areas de las fuentes sismicas para las profundidades entre 40 a 70 km

presenta actividad sísmica significativa y es la última zona considerada con aporte en el cálculo de amenaza.

6.3 RELACION DE ATENUACION

La escogencia de una relación apropiada de atenuación del movimiento fuerte del terreno es uno de los factores más importantes en la estimación de la amenaza sísmica en un determinado sitio. En el caso de este proyecto, nos hemos visto favorecidos porque paralelamente a nuestra investigación, se ha venido trabajando fuertemente con el apoyo del proyecto financiado por

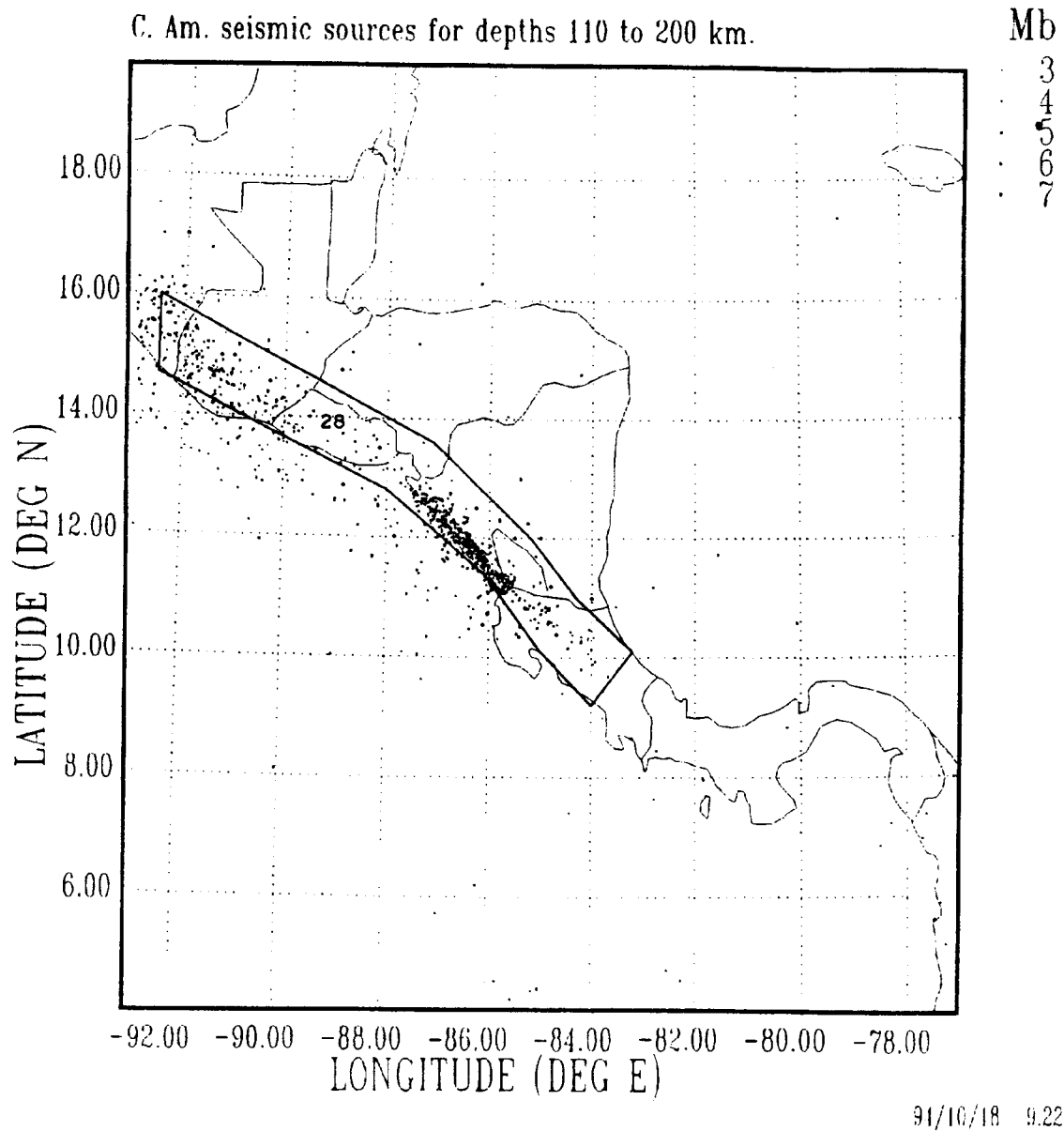


Figura 12: Area de las fuentes sismicas para las profundidades entre 70 a 110 km

NORAD y la participación de investigadores de la región y de NORSAR, en la elaboración en primer lugar, de una buena base de registros acelerográficos de sismos fuertes ocurridos en los últimos años en América Central. De esta valiosa información, Climent et al. (1994) han podido obtener una nueva relación de atenuación de aceleraciones para la región centroamericana. El modelo de atenuación escogido tiene la expresión siguiente:

$$\ln (A) = c_1 + c_2 * M_w + c_3 \ln R + c_4 R + c_5 S + \ln E \quad (3)$$

C. Am. seismic sources for depths 110 to 200 km.

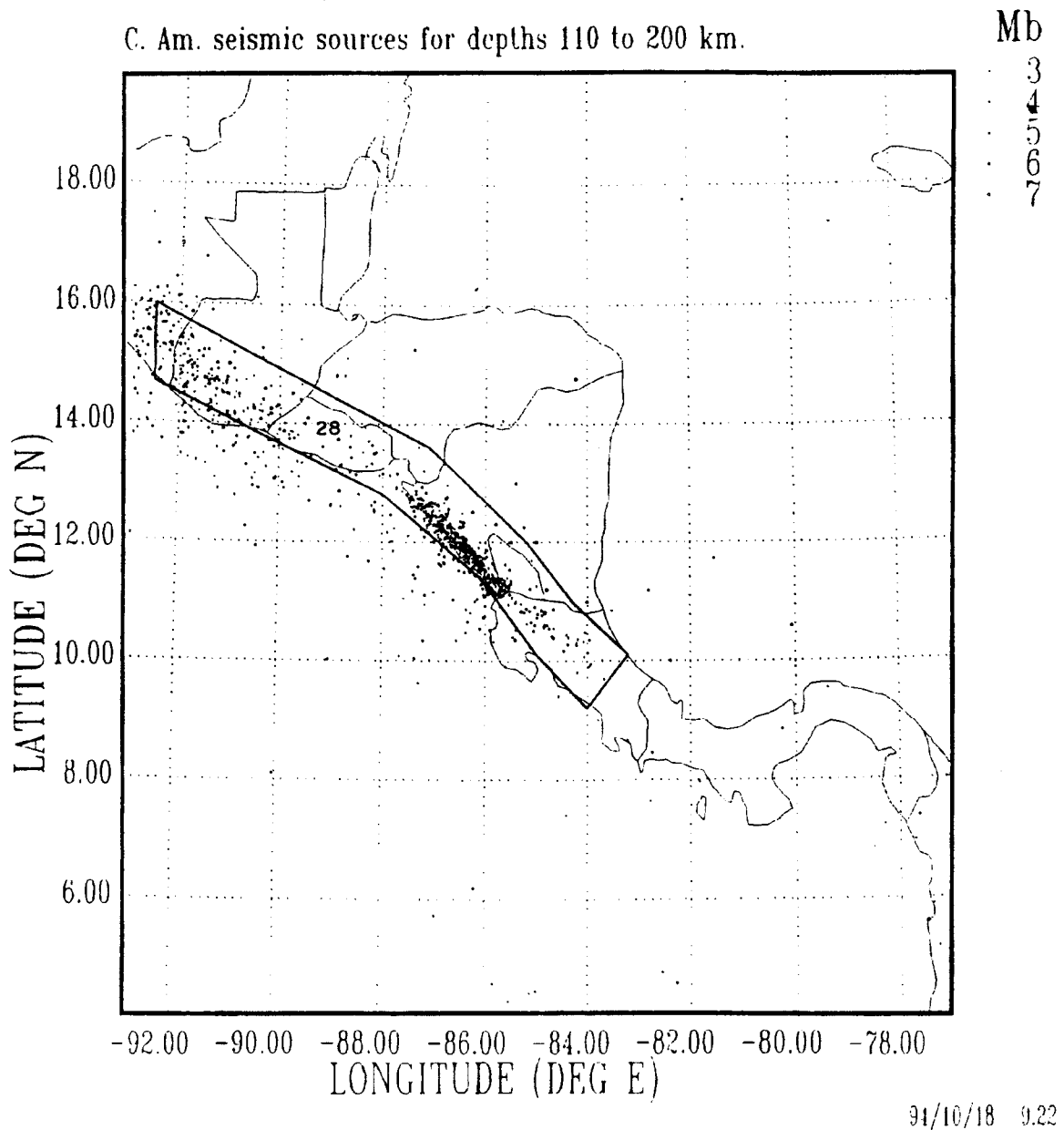


Figura 13: Areas de las fuentes sismicas para las profundidades entre 70 a 200 km

donde A es la aceleración pico del terreno (PGA en m/seg^2), M_w es la magnitud momento; R es la distancia hipocentral (km); S varía de acuerdo a las condiciones del suelo, siendo cero en sitios rocosos y 1 para sitios con suelo; $\ln E$ es un factor de error que esta normalmente distribuido que tiene un valor medio 0 y una desviación estandard sigma de 0,75, es decir $\ln E = N(0, 0,75)$, y c_1 a c_5 son constantes que se determinan empíricamente.

Una regresión bayesiana fue aplicada a 218 acelerogramas digitalizados y provenientes de Centro América, de los cuales 155 fueron obtenidos en Costa Rica y el resto son de Nicaragua y El Salvador. Además, se usaron 62 registros de Guerrero, México.

Para determinar la pseudovelocidad relativa en m/seg, se obtuvieron diferentes coeficientes c_1 a c_5 , para el valor promedio correspondiente al mayor valor del movimiento horizontal, considerando un amortiguamiento del 5%. Los valores de las constantes para la aceleración pico en m/seg^2 que corresponden a la frecuencia de 40 Hz llevaron a Climent et al (1994) a encontrar la relación (incluye sólo los datos de Centro América) siguiente:

$$\ln A = -1,687 + 0,553M - 0,537 \ln R - 0,00302 R + 0,279S + \ln E$$

La distribución de magnitudes de los temblores usados muestra que los temblores con magnitudes alrededor de 5-6 y 8 están bien representados. Estos últimos si se consideran los datos de Guerrero, México. La distribución de distancias hipocentrales muestra que las distancias menores a 150 km son la mejor representadas. La mayoría de los temblores tienen profundidad superficial, aunque se usaron algunos eventos con profundidades hasta de 100 km. Los temblores tienen fuentes sísmicas correspondientes tanto a temblores de subducción como relacionados con el fallamiento cortical del cinturón montañoso (Climent et al., 1994).

7. PRESENTACION DE MAPAS

7.1 PROCESO DE COMPILACION

Para la obtención final de los mapas de amenaza sísmica, se calcularon primeramente, valores de amenaza en una configuración en enrejado, para toda Centroamérica, distribuidos cada medio grado. El cálculo de la amenaza sísmica para cada punto del enrejado, se realizó mediante la corrida del programa NPRISK en el sistema UNIX. Usando el mencionado modelo sismotectónico de 28 fuentes sísmicas, se demoró unos 40 minutos en la corrida de un total de unos 300 puntos donde se evaluó la amenaza.

7.2 ELABORACION DE LOS MAPAS DE AMENAZA

Fueron obtenidos 4 mapas de curvas de amenaza sísmica para la región, cada uno de ellos representando diferentes períodos de retorno. Los tiempos de retorno analizados (sobre una probabilidad de exedencia del 10 %), fueron para: 50, 100, 500 y 1000 años.

La integración de resultados de amenaza dentro de los mapas, se efectuaron utilizando el programa GMT para UNIX. El mismo presenta diversas opciones de ploteo, como: rango de espaciado entre curvas, sombreado automático, opción de imprimir (a conveniencia), los valores que identifican cada curva y la numeración de los grados de latitud y longitud en el marco de referencia, entre otros.

RESULTADO PARA UN SITIO -86.236 12.185

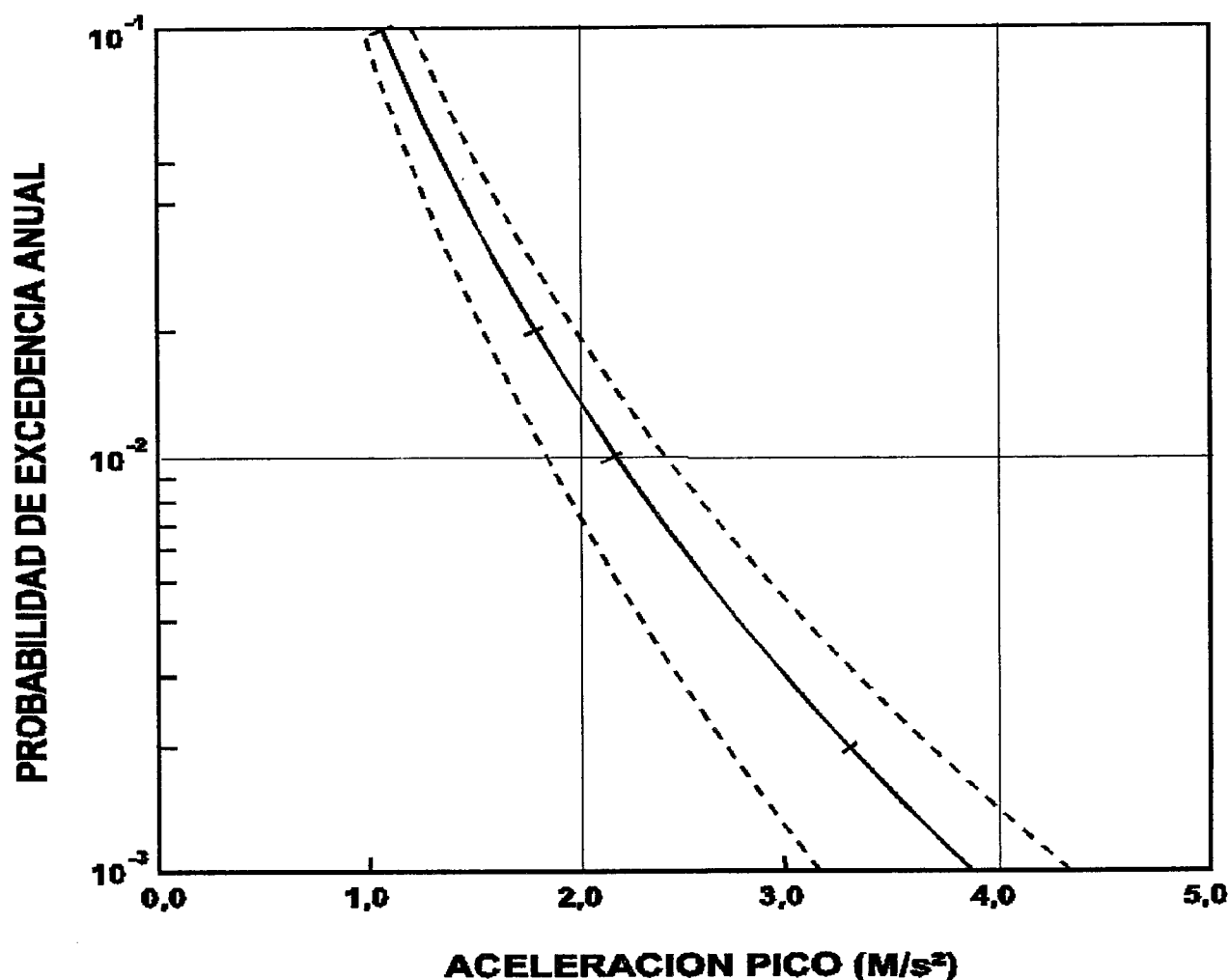


Figura 14: Curva de amenaza para roca en Managua, calculada a partir de los parámetros PGA contre probabilidad de excedencia anual, para la mayor componente del movimiento horizontal. Las líneas punteadas indican valores +/- una desviación estandar.

7.3 ESTIMACIONES Y RESULTADOS DE LA AMENAZA

La estimación de la amenaza sísmica es obtenida como una aproximación del actual problema a resolver. Dada la incertidumbre existente en la estimación de la mayoría de los parámetros, se usa la técnica de aproximación del "árbol de la lógica", el cual permite computar los intervalos de confidencialidad para estimar la aceleración pico.

Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para América Central
Período de retorno: 50 A Método: Zonas sismogénicas

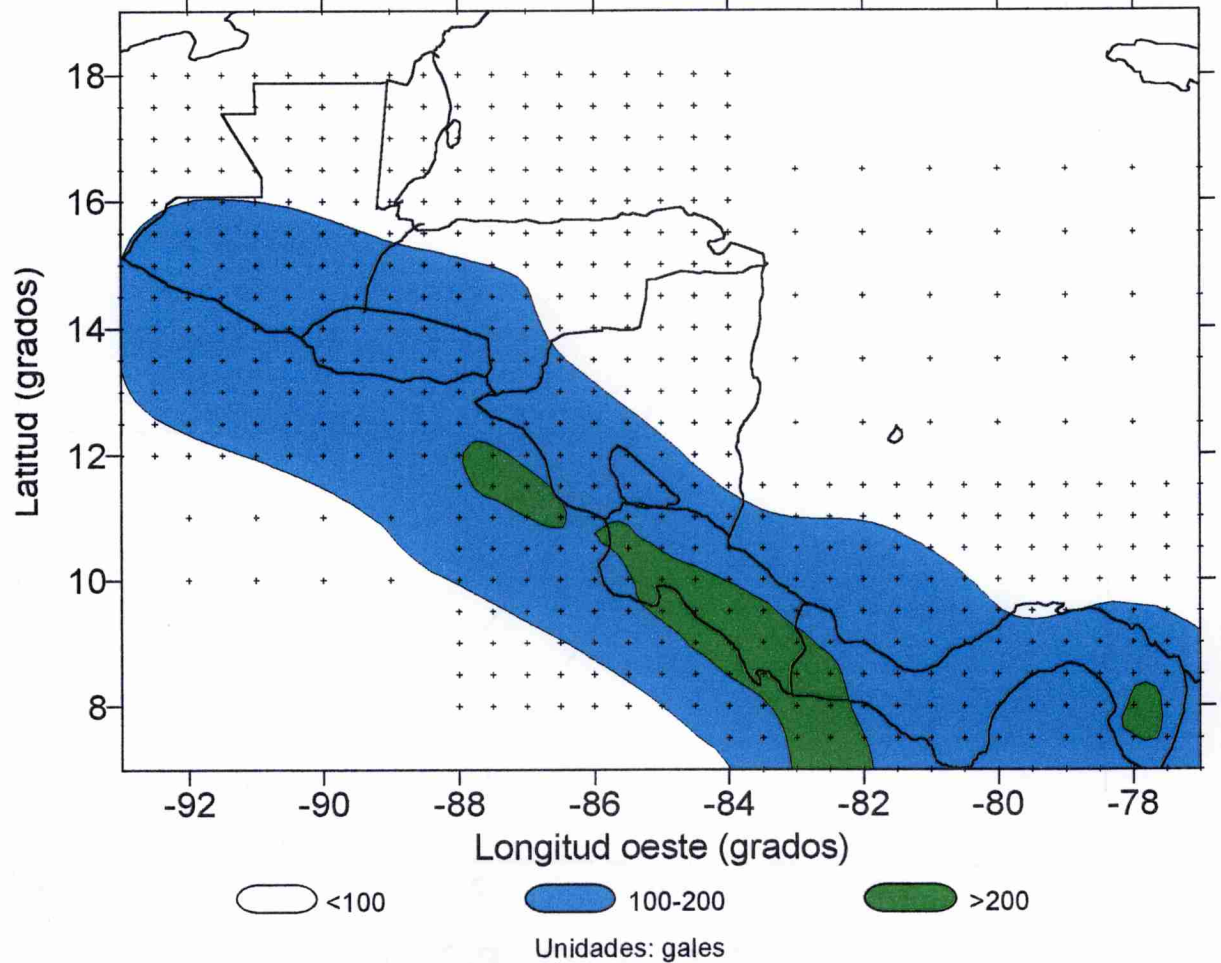


Figura 15: Mapa de curvas de isoaceleración máxima horizontal del terreno (PGA en cms^{-2}) para condición en roca, para un período de retorno de 50 años. Los signos + indican los puntos de la grilla para los cuales se ha estimado la amenaza sísmica.

Un ejemplo del resultado de aceleración pico esperada (m/s^2), se presenta en la figura 14. Los mapas de curvas de amenaza sísmica para distintos periodos se muestran en las figuras 15 a la 18.

La amenaza aparentemente está controlada por la sismicidad de subducción y en menor grado, por el sistema de rupturas superficiales.

Las curvas de amenaza sísmica tienden a incrementar sus valores de noroeste a sureste, a lo largo del margen Pacífico de América Central. Los valores más altos de PGA se dan en

Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para América Central
Período de retorno: 100 A Método: Zonas sismogénicas

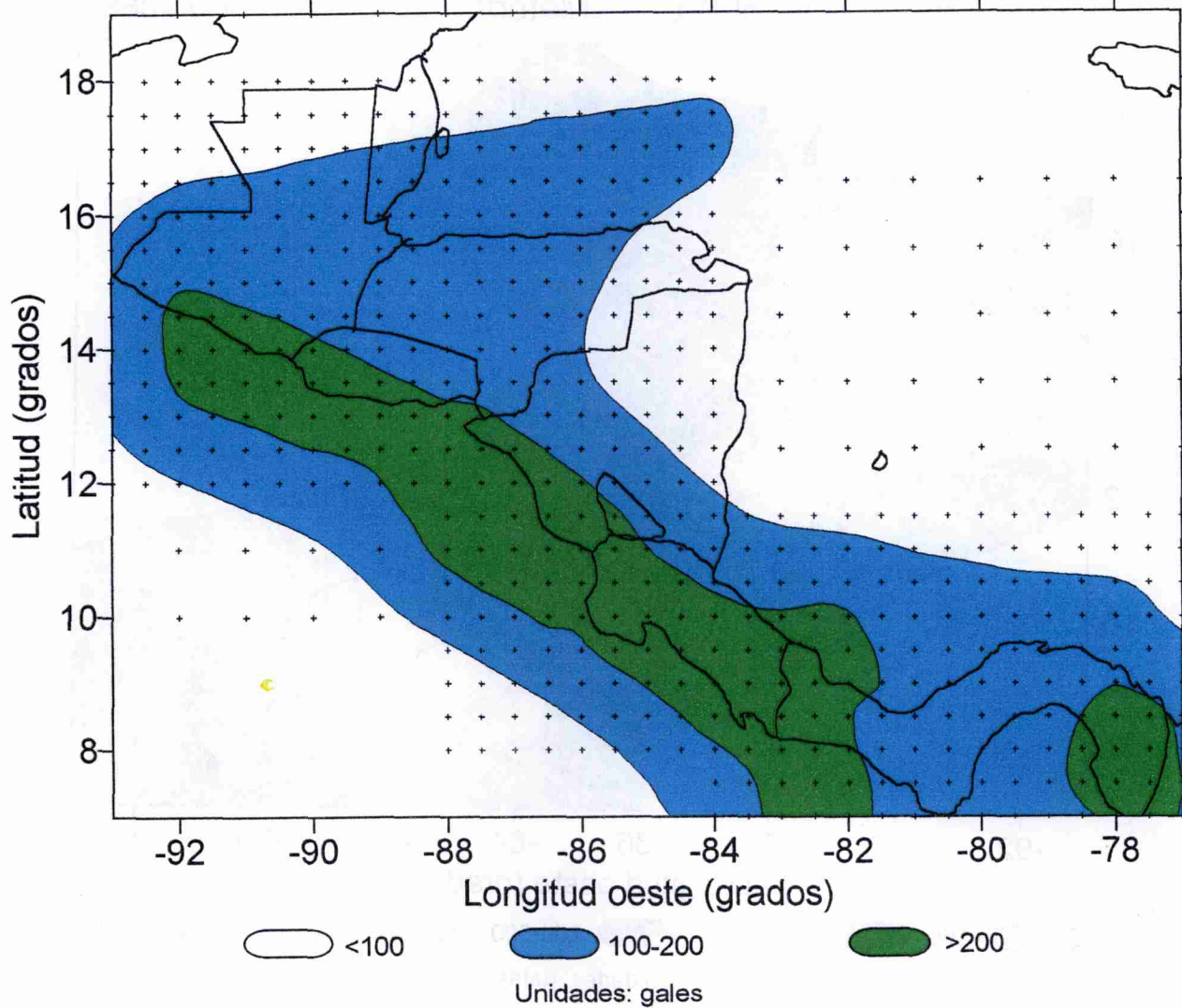


Figura 16: Mapa probabilístico de curvas de isoaceleración para la amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 100 años. Los signos + indican los puntos de la grilla para los cuales se ha estimado la amenaza sísmica.

Nicaragua y Costa Rica, lo que podría estar relacionado con el incremento en la velocidad de convergencia de la placa Coco bajo la Caribe.

Se considera que algunas zonas a lo largo del arco volcánico, donde posiblemente estas fuentes no son modeladas adecuadamente por la escala del trabajo y la densidad de muestreo, es decir, en general las curvas de isoaceleración, de acuerdo a lo esperado, dan valores aparentemente bajos, a lo largo de algunas áreas del arco volcánico (por ejemplo El Salvador,

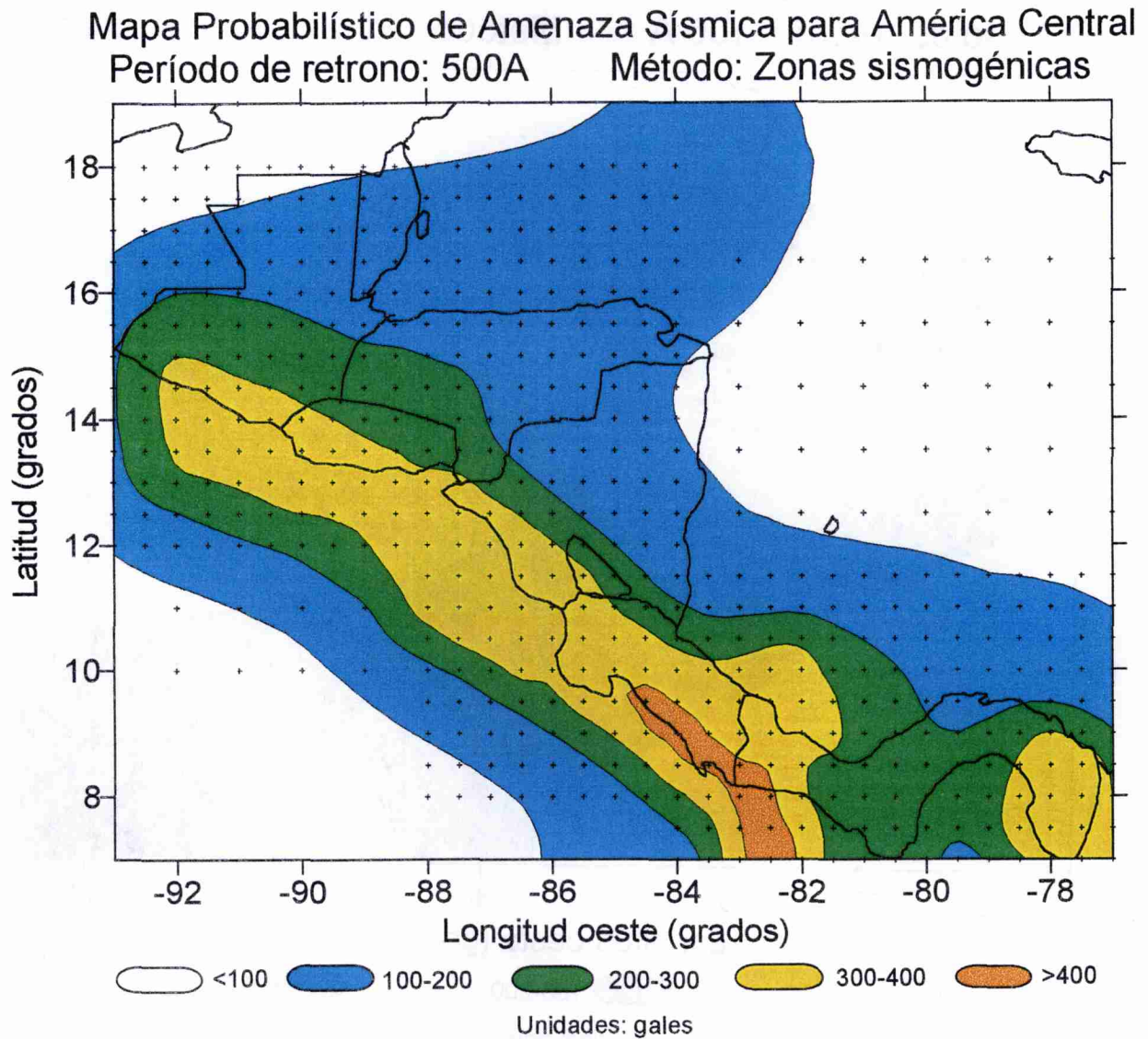


Figura 17: Mapa probabilístico de curvas de isoaceleración para la amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 500 años. Los signos + indican los puntos de la grilla para los cuales se ha estimado la amenaza sísmica.

Managua y el Valle Central de Costa Rica). Esto es de esperar para algunas áreas, donde no es posible modelar apropiadamente algunos niveles altos de amenaza.

Finalmente se hace incapié, en que el modelo de zonificación sísmica, es preliminar y a nivel regional, por lo tanto no es realmente apropiado usarlo para estimaciones locales.

Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para América Central
Período de retorno: 1000A Método: Zonas sismogénicas

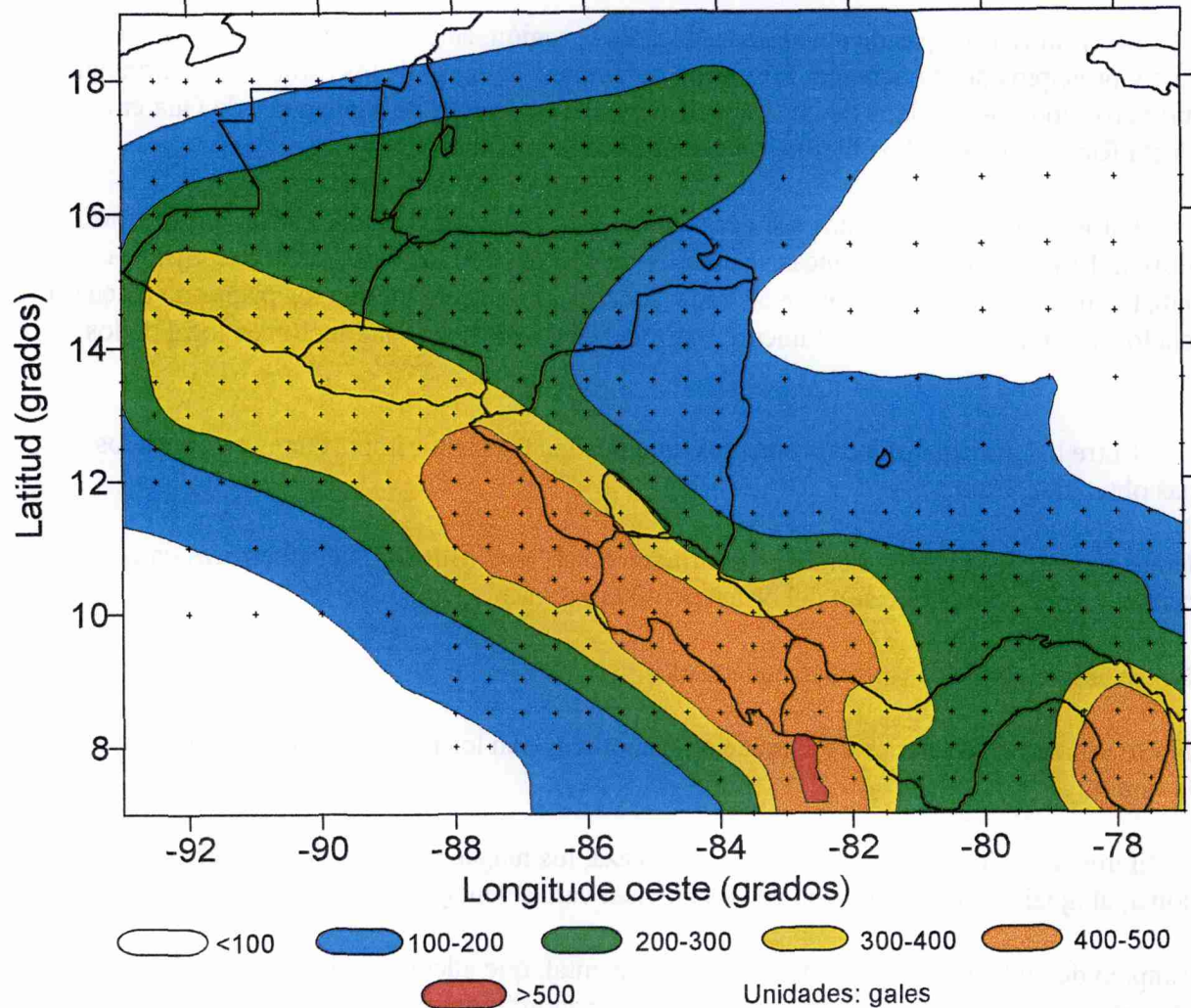


Figura 18: Mapa probabilístico de curvas de isoaceleración para la amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 1000 años. Los signos + indican los puntos de la grilla para los cuales se ha estimado la amenaza sísmica.

7.4 CONCLUSIONES

Para algunas áreas contenidas en el mapa de modelos sismotectónicos, no es posible modelar los niveles de amenaza apropiadamente.

Por lo tanto, cuando se estudien sitios específicos, con complejidad tectónica local, dichos mapas deben ser utilizados con cautela. Además, la escala es regional, involucrando los seis países del área y las zonas fronterizas, tanto de México como de Colombia, en los extremos.

8. RELEVANCIA Y SIGNIFICADO REGIONAL Y LOCAL

A) Enfatizar naturaleza de las ventajas sobre mapas previos

Los primeros mapas de amenaza sísmica de la región, se efectuaron durante los años setenta y principios de los ochenta. Surgieron como parte integral de los estudios que originaron los primeros códigos sísmicos de Nicaragua (luego del terremoto de Managua), de Guatemala y de Costa Rica. Estos estudios fueron a nivel nacional.

Estos estudios de amenaza sísmica, fueron elaborados por la Universidad de Stanford, California. Las estimaciones sísmicas se efectuaron con base en los datos de la Red Sísmica Mundial, y no se incluyeron datos de las redes locales. De manera tal que los mapas de amenaza obtenidos, podrían no ser completamente representativos de la realidad tectónica local de los países.

Entre los principales inconvenientes, que pueden transmitir importantes errores a los mapas obtenidos, estan:

- . ■ Generalmente los eventos sísmicos reportados por la Red Mundial, tienen errores en el epicentro y profundidad que son del orden de 40 km o más.
- . ■ No se usaron modelos tectónicos adecuados.
- . ■ No se utilizaron relaciones de atenuación elaboradas con los propios registros acelerográficos de la región.
- . ■ A diferencia de los anteriores mapas de amenaza, los mapas obtenidos en este estudio a nivel regional, al igual que otros de nivel nacional tienen varias ventajas, que son el resultado de:
 - . ■ Empleo de un banco de datos histórico-instrumental, que además de los datos de las redes internacionales, contiene información de las redes sismográficas locales.
 - . ■ Se efectuó una adecuada técnica para la depuración o filtrado de réplicas contenidas en el catálogo usado.
 - . ■ Se determinaron relaciones de transformación de magnitudes (M_l y M_b a M_s , para finalmente obtener la homogenización a un solo tipo de magnitud M_w .
 - . ■ Se empleó una regionalización o modelo sismotectónico a nivel Centroamericano, apoyado en sugerencias y aporte de profesionales de cada uno de los centros sismológicos de la región y sustentado en los más recientes datos sismológicos y neotectónicos existentes.

- Empleo de un buen programa para el análisis de amenaza, denominado NPRISK, cuya versión original ha sido mejorada y actualizada. Esto incluye la utilización del algoritmo "logic tree", que considera los grados de incertidumbre en los parámetros sísmicos.

9. ESFUERZOS PARA DISEMINACION DE RESULTADOS

9.1 DURANTE EL PROYECTO

En relación al Banco de temblores de América Central CATASIS el mismo se distribuyó entre las diferentes instituciones geocientíficas que colaboran con CEPREDENAC. Asimismo, durante los talleres realizados en la Escuela de Geología, con la participación de geocientíficos de la región, a los participantes se les impartieron charlas y se tuvieron sesiones individuales para explicar acerca de las diversas características que tiene el programa CATASIS, tanto respecto a la información que contiene como con respecto a sus aplicaciones.

El programa y el banco de temblores CATASIS fue asimismo entregado al Coordinador General del Proyecto para que fuera utilizado en el estudio de amenaza sísmica de América Latina.

Con respecto a los estudios de sismicidad histórica, el principal mecanismo que se utilizó para divulgación de resultados fue mediante la elaboración de informes, libros o artículos científicos o científico-divulgativos. También, se realizaron diversas presentaciones en reuniones de carácter científico. Se incluyen acá las charlas desarrolladas durante las reuniones anuales realizadas durante la ejecución del proyecto y que tuvieron el propósito de divulgar las actividades desarrolladas en las diversas fases del proyecto, esto con el fin de que se tuviera un adecuado conocimiento de parte de las otras subregiones participantes en el proyecto acerca del avance logrado, y que también se diera una adecuada retroalimentación al mismo. Aca se incluyen desde la primera reunión que tuvo lugar en ciudad de Panamá y las siguientes realizadas en Melbourne, Florida, USA. También se realizaron diversas presentaciones en varios congresos o seminarios que tuvieron lugar durante la vigencia del proyecto. Entre estos tenemos los siguientes:

a) XV Asamblea General y de Reuniones Conexas del Instituto Panamericano de Geografía e Historia- Taller Panamericano sobre Redes Geodésicas y Geofísicas- Taller Panamericano sobre Bases de Datos Geofísicos. Este evento fue realizado entre el 14 y el 18 de marzo de 1993, en San José, Costa Rica. En esta actividad se presentó la siguiente ponencia:

Bases de datos para sismos de Centroamérica: El catálogo NORSAR y el Catálogo CATASIS. Autores W. Rojas, G. Peraldo y W. Montero.

b) Reunión de Brasilia entre el 22 al 26 de agosto de 1994. Se presentó resumen de la ponencia:

Seismic hazard in Central America. Autores: Walter Montero y Wilfredo Rojas.

c) **Tercera Reunión Técnica de la Comisión de Geofísica del IPGH.** Realizada en México D. F. entre el 26 al 30 de junio de 1995. Se presentó el trabajo:

Amenaza sísmica en Centro América. Autores W. Rojas, W. Montero y G. Peraldo.

d) **Earthquake Prognostics.** Este evento se realizó entre el 19 y el 23 de setiembre de 1994. Se presentó el trabajo:

Intensidades Máximas de América Central. Autores Magda Taylor, Rafael Barquero y Wilfredo Rojas.

En el apéndice 5 se incluye una lista y descripción de cada uno de los documentos elaborados dentro del marco de este proyecto.

9.2 POSTERIORES AL PROYECTO

9.2.1 SOBRE SISMICIDAD HISTORICA

Se realizará una publicación, que constará de tres tomos que incorporó los datos macrosísmicos, transcripciones e interpretación histórica de la sismicidad histórica de América Central. Cada tomo contendrá lo siguiente:

Tomo I: Incluirá las transcripciones de los documentos que fueron localizados en los archivos investigados e información recopilada en los archivos sobre sismos centroamericanos.

Tomo II: Contendrá la interpretación de la sismicidad histórica de América Central (anterior a 1900), así como los datos macrosísmicos de los temblores históricos recopilados asignados por diversos autores y comentarios sobre aspectos relevantes de cada evento destructivos (intensidad VIII) ocurrido.

Esta sismicidad se estudiará en forma integral para definir los períodos de mayor actividad, migración de la actividad e interpretación de datos macrosísmicos entre otros.

Tomo III: Análisis histórico de los temblores recopilados, interpretando el impacto o repercusión económica, social, cultural entre otros aspectos de relevancia a considerar, que estos eventos más destructivos tuvieron en la sociedad.

10. CONCLUSIONES

Los principales logros y resultados obtenidos durante el presente proyecto son:

- Se ha dado un importante impulso a los estudios de sismicidad histórica regional, mediante la investigación directa en diversos archivos regionales y nacionales y en hemerotecas nacionales. Esto ha permitido obtener nueva y valiosa información acerca de la ocurrencia de

algunos eventos sísmicos no previamente identificados y la obtención de información complementaria y más completa acerca de muchos eventos sísmicos que previamente estaban mal documentados.

- Se ha generado un nuevo catálogo de sismicidad histórica para América Central denominado CATASIS, en el cual se ha incorporado toda la información primaria y secundaria que para nuestro conocimiento existe en las diversas referencias existentes a nivel regional y nacional, con respecto a la sismicidad preinstrumental. Este software puede ser usado en microcomputadoras IBM o compatibles y requiere dos megas de memoria RAM.
- Se ha elaborado un nuevo catálogo de sismicidad histórico e instrumental cuyo información parcialmente proviene de aportes directos obtenidos en este proyecto.
- Se han realizado una gran cantidad de nuevas interpretaciones sismológicas acerca de sismos históricos ocurridos a nivel nacional o regional. Esto ha permitido obtener parámetros focales partiendo de datos macrosísmicos, identificación de posibles fuentes sismogénicas y una mejor caracterización de la actividad de las fuentes, la variación espacio-temporal de la sismicidad dañina y las zonas de mayor amenaza en la región.
- Se ha desarrollado una nueva regionalización sísmica para América Central, la cual ha sido resultado de la colaboración de diversas personas que participaron en los talleres auspiciados por este proyecto o mediante la interacción recíproca de investigadores que se dió durante el proyecto.
- Se ha obtenido nuevos mapas de amenaza sísmica de América Central para diferentes periodos de retorno, aplicando una ley de atenuación de aceleraciones obtenida con datos regionales y mediante la aplicación de un software que permite incluir incertidumbres en los principales parámetros sismológicos. Previamente se ha realizado un análisis de completitud y de homogenización del catálogo y una limpieza de las réplicas.

11. REFERENCIAS

- Camacho, E. y Viquez, V.; 1994:** Historical seismicity of the North Panamá Deformed Belt. *Rev. Geol. Amer. Central*, Vol 15:49-64.
- Cornell, C., 1968:** Engineering Seismic Risk Analysis. *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- Climent, A., W. Taylor, M. Ciudad Real, W. Strauch, M. Villagran, A. Dahle y H. Bungum (1994):** Spectral strong motion attenuation in Central America Technical report No 2-17, NORSAR, August 1994.
- Dahle, A., 1994:** NPRISK Users Guide, Version 1.1. NORSAR, Norway.
- Finch, R.C. and Ritchie (1991):** The guayaye fault system, Honduras, Central America, *J. of South Am. Earth Scien.*, 4, 43-60.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter., 1954:** Seismicity of the Earth and associated Phenomena. Princeton, N.J., University Press, 1954, 310 pp.

Kiremidjan, A.S., P. Shutch and H.C. Shah., 1979: Seismic Hazard Analysis of Honduras. Dept. Civil Engineering, Stanford Univ. Report No. 38.

Manton, W.L (1987): Tectonic interpretation of the morfology of Honduras. Tectonics, 6, 633-561.

Molnar, P. and L.R. Sykes., 1969: Tectonics of the Caribbean and Middle Am. region from local mecanism and seismicity. Bull. Geol. Soc. Am., 80, 1639-1684.

Montero, W., Camacho, E., Espinoza, A. y Boschini, L (1994): Sismicidad y marco neotectónico de Costa Rica y Panamá. Rev. Geol. Am. Central, Vol. Especial, Abril 1994.

Quirós, C.; 1992: Un encuentro entre la geología y la Historia Colonial. Rev Reflexiones 1:23-26.

Rojas, W., Cowan, H., Lindholm, C., Dahle, A y Bungum, H., 1993: Regional Seismic Zonation for Central America. A Preliminary Model.- Technical Report, NORSAR, Norway.

12. APENDICES

APENDICE 1

TALLER DE CATALOGOS SISMICOS

Una actividad de apoyo al programa de sismicidad histórica para Centro América, consistió en la organización del **"TALLER DE CATALOGOS SISMICOS"** organizado en la Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, en el cual se presentaron diversas ponencias de interés sismológico.

Los participantes en este evento fueron las siguientes personas:

MSC. Walter Montero P.	Lic. Ileana Boschini
Lic. Rafael Barquero	Bach. Waldo Taylor
Ing. William Vargas	Dr. Federico Güendel
Lic. Carlos Montero	Lic. Jorge Obando
MSc. Eduardo Camacho	MSc. Luis Diego Morales
Lic. Mario Fernández	Dr. Conrad Lindholm
Bach. Randall Flores	Bach. Hector Flores
Bach. Giovanni Peraldo	Dr. Javier Pacheco

También fueron invitados los doctores José Grases y Gerardo Suárez quienes por motivos diversos no pudieron asistir.

El programa de charlas del taller de Catálogos Sísmicos fue el siguiente:

- El catálogo de temblores de América Central del Proyecto de Amenaza Sísmica del I.P.G.H.- MSc. Walter Montero Pohly.
- Metodologías para la determinación de magnitudes, intensidades, epicentros y profundidades de eventos históricos - MSc. Walter Montero Pohly.
- Metodologías para determinación de parámetros focales y magnitudes de eventos históricos de Panamá - MSc. Eduardo Camacho.
- Investigación de terremotos costarricenses en periódicos: el caso de los temblores de 1904, 1916 y 1953 - Geól. Ileana Boschini.
- Metodologías para estimación de intensidades de eventos históricos de Costa Rica. Dr. Federico Güendel - Geogr. Carlos Montero.

■ Catálogo Sísmico de América Central del Proyecto NORSAR - CEPREDENAC - Dr. Conrad Lindholm.

■ Investigaciones en los archivos de Indias, Sevilla, Biblioteca Nacional, Madrid, España, General de Centro América y Hemeroteca Nacional de Guatemala, Nacional y de la Curia Metropolitana de Costa Rica dentro del Proyecto de Amenaza Sísmica del I.P.G.H. - Geól. Giovanni Peraldo Huertas.

■ El Banco de Datos Sismológicos de América Central - Geól. Giovanni Peraldo Huertas.

■ Discusión y conclusiones finales sobre metodologías para estimación de parámetros focales y magnitudes de eventos históricos y el catálogo de sismos de Centro América. Moderador: Walter Montero Pohly.

La actividad dejó muchas enseñanzas, tanto por las ponencias presentadas como por las discusiones efectuadas luego de cada ponencia. Al final de la actividad se alcanzaron varias conclusiones:

Existen una serie de relaciones empíricas para obtener la magnitud, la profundidad y el epicentro de un evento sísmico con base en estudios de intensidades. En especial para los dos primeros parámetros se han descrito algunas de éstas fórmulas, que han sido obtenidas para el centro-oeste de Estados Unidos. Sin embargo, se concluye que con los temblores estudiados actualmente con base en datos de intensidades en Costa Rica, Panamá y algunos otros eventos centroamericanos, especialmente originados en el arco interno, se pueden obtener relaciones empíricas por ejemplo entre magnitud y áreas sentidas de diferentes niveles de intensidad, que sean apropiadas a las particulares características de atenuación y a la estructura geológica de nuestra región.

Sin embargo, se hace la observación de que existen un gran número de temblores dañinos especialmente los grandes eventos de subducción que han sido poco estudiados desde el punto de vista de intensidades, especialmente en países como Guatemala, El Salvador y Nicaragua, por lo que deben intensificarse este tipo de estudios en estos países para mejorar localizaciones focales, magnitudes, atenuación y amplificaciones locales debidas al factor suelo.

Los estudios de estimación de intensidades, dados ciertos parámetros focales y del medio transmisor, permiten predecir los niveles de daños y la amenaza que diversas fuentes sísmicas pueden representar sobre las poblaciones.

Se debe recurrir, en la medida de lo posible, a las fuentes documentales primarias y analizar la información existente dentro del contexto histórico de la época, antes de realizar la interpretación sismológica del temblor histórico.

La asignación de los diferentes parámetros focales para un temblor determinado utilizando intensidades debe realizarse lo más cuidadosamente posible tratando de reunir el máximo de información, para lograr una adecuada confiabilidad.

Cuando se trata de eventos fronterizos en los cuales existe información parcial en cada país, se deben coordinar esfuerzos en la consecución de la misma y realizar estudios de ambas informaciones para la ubicación del evento.

Es importante realizar una óptima ubicación del evento sísmico para poder estimar adecuadamente el potencial sísmico de un área determinada. Por ejemplo, se tenían ubicados algunos eventos sísmicos importantes en la región sismogénica de Osa, Costa Rica, pero las nuevas interpretaciones de estos sismos los ubican en la región del Caribe del mismo país, lo cual hace aumentar su potencial sismogénico de esta última región en relación a la anterior.

Se debe considerar el comportamiento dinámico del terreno durante terremotos, pues las características geotécnicas de éste inciden directamente en la distribución de las intensidades.

TALLER DE REGIONALIZACION SISMICA

Las charlas dictadas en el taller de Regionalización sísmica de América Central fueron:

- "Fuentes sísmicas de Honduras" Dr. Gonzalo Cruz.
- "Fuentes sísmicas de El Salvador" Ing. Rodolfo Torres.
- "Fuentes sísmicas de Nicaragua" Dr. Wilfred Strauch.
- "Zonificación, efectos geológicos y geotécnicos secundarios, relacionados con la actividad sísmica." Dr. Sergio Mora.
- "Fuentes sísmicas de Costa Rica." Dr. Federico Guendel.
- "Sistemas de fallamiento activo en Costa Rica." Lic. Rafael Barquero.
- "Fuentes sísmicas de Panamá" Bach. Vilma Viquez.
- "Regionalización sísmica de América Central y la evaluación de la amenaza sísmica secundaria." M.Sc. Luis Diego Morales.
- "Atenuación de aceleraciones, marco teórico - Ing. María Laporte.
- "Relaciones de atenuación de las aceleraciones y análisis espectrales, para la región de América Central." Lic. Waldo Taylor.

APENDICE 2

INFORMACION RECUPERADA DE LOS ARCHIVOS Y HEMEROTECAS CONSULTADAS

A continuación en el cuadro se muestran los diversos documentos que fueron consultados sobre sismicidad histórica en el Archivo General de Indias.

CUADRO 1: Legajos consultados en Archivo General de Indias

INSTITUCION, SECCION	No DE LEGAJO	NUMERO	RAMO
AGI, Patronato	L 260,		R 03
AGI, Patronato	L 180,		R 71
AGI, Patronato	L 065,		R 13
AGI, Patronato	L 080,	N 5,	R 03
AGI, Patronato	L 083,	N 1,	R 01
AGI, Patronato	L 181,		R 02
AGI, Patroanto	L 266,		R 23
AGI, Patronato	L 026,		R 09
AGI, Patronato	L 026,	N 1,	R 07
AGI, Patronato	L 026,		R 31
AGI, Casa Contratación Indias	L 473,		R 08
AGI, Casa Contratación Indias	L 473,		R 04
AGI, Gobierno, Panamá	L 039		
AGI, Gobierno, Panamá	L 040		
AGI, Gobierno, Panamá	L 041		
AGI, Gobierno, Panamá	L 042		
AGI, Gobierno, Panamá	L 043		
AGI, Gobierno, Panamá	L 029		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 039		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 043		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 044		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 255		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 263		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 256		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 258		
AGI, Gobierno, Panamá	L 030		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 240		
AGI, Gobierno, Guatemala	L 040		

AGI, Gobierno, Guatemala	L 501
AGI, Gobierno, Guatemala	L 215
AGI, Gobierno, Guatemala	L 216
AGI, Gobierno, Guatemala	L 217
AGI, Gobierno, Guatemala	L 218
AGI, Gobierno, Guatemala	L 167
AGI, Gobierno, Guatemala	L 008
AGI, Gobierno, Guatemala	L 813
AGI, Gobierno, Guatemala	L 814
AGI, Gobierno, Guatemala	L 815
AGI, Gobierno, Guatemala	L 450
AGI, Gobierno, Panamá	L 032
AGI, Gobierno, Guatemala	L 449
AGI, Gobierno, Guatemala	L 496
AGI, Gobierno, Guatemala	L 241
AGI, Gobierno, Guatemala	L 657
AGI, Gobierno, Guatemala	L 658
AGI, Gobierno, Guatemala	L 659
AGI, Gobierno, Guatemala	L 242
AGI, Gobierno, Guatemala	L 024
AGI, Gobierno, Guatemala	L 026
AGI, Escrib. Cámara Justicia	L 348-B
AGI, Escrib. Cámara Justicia	L 350-B

En el cuadro siguiente se presenta una descripción breve de la información recopilada en el Archivo General de Indias.

FECHA	COMENTARIO	DOCUMENTO
1516	Temblor sentido por la expedición de Gabriel de Espinoza en Panamá.	-AGLP26 R 7
1561	Temblor de tierra en Guatemala, en el documento expresa que hizo algún estrago.	-AGI, GG 305
1565 08 y 09	Temblor en la ciudad de Antigua Guatemala. Estragos en la ciudad de Almolonga, en este lugar hubo agrietamientos. En el pueblo de San Juan de Comalapán se sintieron gravemente.	-AGI, GG305 -AGI, GG658
1574	Información referente a un proceso de mortual de don Juan de Morales muerto por el terremoto de Mombacho.	-AGI, CCI 473
1575	Temblor en Antigua Guatemala, con estragos. Se sintió desde Chiapa hasta Nicaragua.	-AGI GG 305 -AGI, GG658
1577 11-23	Temblor de tierra en la provincia de Zacatepequez. Se cayó el monasterio y sesenta casas de indios. Con menor fuerza se sintió en la ciudad de Guatemala que queda a cuarenta leguas de ésta.	-AGI, GG10
1581 12-26	Erupción V. Fuego.	-AGI, GG 658
1585 01-16	Temblores muy fuertes en Antigua Guatemala.	-AGI, GG658
1587 12-23	En la Ciudad de Santiago de los Caballeros, Antigua Guatemala, se cayeron cerca de sesenta casas de gente pobre. Iglesia Mayor y monasterios quedaron arruinados. Se indica que la iglesia parroquial era muy pobre.	-AGI, GG10

1591 03-14	Tembler ocurrió a las 12 medio día. El temblor fue sentido desde la provincia de Chiapas hasta la de San Miguel. En Chiapas hizo daño en edificios, en los demás no hubo consecuencias.	-AGI, GG 10
1621 05-02	Edificios afectados: Real Audiencia, Casas de Cabildo, monasterios y casa de don Juan de Santa Cruz, el colapso de esta casa mató a este señor junto con la madre. La iglesia del Monasterio de la Limpia Concepción colapsó. Edificios de las casas de piedra y cantería. Temblores desde el 2 de mayo hasta el 21 de agosto. Fábricas de cantería con serios daños. Primer evento ocurrió a las 10 de la mañana, se describe como un remezón y baibén. Segundo movimiento: 16.30, violento terremoto, después sismos réplica hasta 21 de agosto. Se escuchaban ruidos en dirección del océano.	-AGI, GP 30 -BN,
1651	Se volvió a destruir la ciudad de Antigua por causa de terremotos.	-AGI, GG658
1663 05-11	Se transcribió un documento de 1669 donde se menciona la demolición y construcción de la Iglesia catedral. El presidente de la Real Audiencia "...por los muchos y graves ruinas que tenía la antigua, la mandó demoler..." No se menciona la naturaleza de los daños. Se pueden relacionar con los eventos de 1663 y 1666. Al terminar la obra se menciona: "...Queda señor esta santa Iglesia en su proporción la mejor y más hermosa que hay en toda la Nueva España... hállese en los cimientos muy trabada y fuerte... para la resistencia de los frecuentes temblores..."	-AGI, GG 26
1671 08-16	En San Salvador, daños en edificios públicos, unos del todo arruinados y los demás inhabitables y necesitados de grandes reparos. Intento de trasladar la ciudad pero no se llevó a cabo. En este documento se habla de temblores, daños en Parroquia, templos, conventos, ermitas y casas de gobernadores. Reparaciones en el convento de las Mercedes. Se sugiere que hubo víctimas.	-AGI, GG24 -BN, 2675
1699	En ese año hizo erupción el Volcán de Fuego (Díaz, 1933) En carta fechada en 25 de octubre de 1700 se menciona "...con la horrorosidad del Volcán de Fuego nunca experimentado como con el formidable y espantoso globo de fuego que apareció en aquella ciudad y terremoto que levantó..." Este terremoto de que se habla en el documento tiene que haber ocurrido a finales del siglo XVII alrededor de 1699.	-AGI GG 216
1702 08-04	Terremoto que no destruyó considerablemente los edificios pero los perjudicó.	-AGI, GG658
1705 02-01	Erupción V. Fuego.	-AGI, GG658
1709 o 1710	Erupción V. Fuego.	-AGI, GG658
1717 08-27	Uno de los volcanes cercanos a Antigua Guatemala entró en una fase eruptiva importante. Expulsión de material piroclástico (arena, ceniza, bombas) y lávico. "...rios de fuego y piedra encendida..." La ceniza cayó a 50 leguas a la redonda. "...perdió todas las sementeras..." Se sintieron temblores continuos, "...movía las casas y la iglesia catedral. "...Los retumbos y bramidos que daba el volcán que estremecían la tierra con movimientos para arriba..." Luego el volcán entró en fase terminal de su fase eruptiva pues solo exhalaba humo. Luego ocurrió temblor fuerte y largo. Un cuarto de hora después sobrevino el segundo temblor. Después otro temblor, "...y cada uno con tal ruido por de bajo de la tierra que parece se hunde ya ésta..." El movimiento es hacia arriba. En el documento expresa que estos tres movimientos duraron una hora. Movimiento irregular.	-AGI, GG 305
1717 09-29	Terremoto en Antigua Guatemala. Ruina de todos los templos principales y casas del centro de la ciudad. Asoló los barrios de la ciudad. Muchas casas y templos edificadas desde los cimientos. Otro documento sugiere la ocurrencia de varios sismos. En este documento se habla de las reparaciones en distintos sectores de la ciudad. El día 3 de octubre, entre las once y doce de la noche, hubo otro temblor pero no causó nuevo estrago "...porque aunque tan grande como el otro, no tuvo los movimientos para arriba, sino a los lados, pues parecía la tierra en largo espacio y tiempo un mar con olas..."	-AGI, GG241 -AGI, GG305 -AGI, GG 659
1719 03-01	En informe del gobernador de Sonsonate indica que reparó la Carcel, Cavildo, y Sala de Armas "...que todo está caído, que es compasión como hallé este lugar y las Iglesias de los pueblos..." Se observa que son daños generalizados por lo que se puede relacionar con el temblor de 1719.	-AGI, GG 240
1722 09-24	El gobernador de Sonsonate da cuenta de "...la reventazón de un volcán que el día 24 de setiembre del año pasado cubrió de escorias y cenizas gran parte de esta provincia..." Menciona que reconstruyó la iglesia de un pueblo (no lo menciona) que destruyó el volcán.	-AGI, GG 240
1751 03-04	Diversos daños en las fábricas de los templos y el Palacio Real, la parte superior del mismo hubo que demolerla para que resista la parte de abajo de dicho edificio.	
1757	Nuevos temblores en Santiago de Guatemala.	AGI, GG658
1773 07-29	Terremoto que destruyó la ciudad de Santiago de Guatemala. Dos sismos de gran intensidad seguidos en el tiempo destruyeron casi todo edificio en la ciudad 12-13: Serie de sismos	-AGI GG 657

	violentos. 12-14: Temblor fuerte entre las tres y cuatro de la mañana. Siguieron los temblores y retumbos, los cuales "...se experimentan con sobrado horror y unas veces los percibimos debajo de nuestros pies, otros a corta distancia, otros a más algunos son procedidos de cierto ruido como de viento que corre por debajo de la tierra..." Donde se ubica la Iglesia llamada los Dolores del Cerro son los temblores y retumbos más violentos "...de manera que algunas veces parece que debajo de los pies nos disparan cañones de artillería..."	
1773 09-16	Recio temblor fue sentido en la localidad de Omoa. Por la noche hubo aguaceros muy recio a tal punto que el Río Grande se salió de cauce. Se mencionan daños producidos por la inundación y no por el temblor.	-AGI, GG 450
1774 10-14	Sentido en Comayagua. Temblor fuerte que hundió los techos de la Cárcel y el Cuartel de los Dragones, maltrató la catedral por la nave de en medio, y más por la del costado derecho, se han quebrantado muchas casas y el Convento de la Merced y San Francisco. La casa Real se ha resentido bastante en todas las paredes. En el pueblo de Lejamani, la iglesia quedó muy dañada, la ermita de los Dolores de ese pueblo se fracturó totalmente. "...el cerro contiguo a este pueblo se abrió del lado del pueblo como doce varas...el que llaman Gorra de Cuero me dicen ha caído su mayor parte..." A las tres de la tarde se sintió otro temblor. Desde el 11 de octubre se escuchaban retumbos. El 17 de octubre hubo otro temblor en Comayagua.	-AGI GG 450
1775 07-02	Erupción del Cerro Humito contiguo al V. Pacaya. "...el estrago que causó el cerro nombrado los Humitos, inmediato al V. de Pacaya, con el fuego y materiales que ha expedido por tres bocas que se abrieron la noche del día 2 de julio del corriente..." Expulsión de material piroclástico (arena y ceniza) dirigido hacia la costa. Perjudicado el pueblo de San Cristobal Amatitlán. Colada de lava que se dirige hacia el Sur. En otra carta se dice: "...en la noche del día 2 del corriente, y siguiente hasta la fecha se ha distinguido una prodigiosa erupción de fuego a distancia de 11 leguas de este provisional establecimiento...en un cerro que no se conocía por volcán, y está inmediato al nombrado Pacaya..." El Pueblo de San Cristobal está arruinado con el peso de la ceniza y los constantes movimientos sísmicos. Es probable que la actividad volcánica haya seguido a lo largo de una falla o fractura pues se describe en el documento que: "...descubriéndose nueve bocas profundísimas y distintos respiraderos que ocupan el espacio de legua y media en lo largo y con cincuenta varas de ancho...en este establecimiento no se ha sentido el más leve temblor..." En el pueblo de Amatitlan se sintieron en un solo día setenta temblores.	-AGI GG450
1776 05-30	Ocurrencia de un terremoto seguido de otros a cortos intervalos de tiempo. Frecuentes retumbos. 05-31: Nuevo terremoto en San Salvador. Continué temblando durante toda la noche. Los efectos de estos sismos se experimentaron en los pueblos de Nejapa, Apopa y Quezaltepeque. En estos pueblos se abrieron grietas "...de más de dos varas y por ellas están brotando mucha agua y lodo, y que se infiere es de un cerro pequeño que reventó inmediato al Volcán de esta ciudad..." En Cojutepeque y San Vicente fueron sentidos sin causar daño "...pues este estrepitoso ha sido en esta ciudad, y sus inmediaciones..."	-AGI, GG 450

Para ayudar a los futuros investigadores, se considera conveniente realizar una breve descripción de la organización documental del Archivo General de Indias. Esta tiene las siguientes secciones:

1- Patronato: Consta generalmente información referente al período de la conquista, dividido en legajo, ramo y número.

2- Contaduría del Consejo de Indias: Consta de las cuentas de todas las cajas reales de las Indias, del Consulado de Sevilla, de la Casa de Contratación, de la Armada y flotas, del propio Consejo.

3- Casa de Contratación de Indias: Asuntos relacionados con expediciones (contrataciones) terrestres y marítimas.

4- Justicia: Todo lo referente a litigios entre partes y juicios de residencia.

5- Gobierno: Cartas de gobernadores, asuntos varios.

6- Escribanía de Cámara de Justicia: Relacionado con los asuntos jurídicos de las colonias, juicios de residencias de gobernadores y demás funcionarios de la corona.

7- Comisaría Interventora de la Hacienda Pública en Cádiz: Abarca navegación, comercio, pasajeros, expediciones militares y tropas, misiones.

8- Correos: Correspondencia entre la corona y sus colonias. Correos marítimos.

9- Mapas y Planos: Sección que ofrece la colección de planos de edificios y mapas de lugares.

Entre los problemas externos al proceso de investigación que se presentaron están los siguientes:

1-La documentación del Archivo General de Indias no está catalogado por documento, sino por legajos, que son grupos de documentos. Como ejemplo el legajo 167 de la Sección Gobierno (Guatemala) indica: Cartas y expedientes de los cabildos eclesiásticos de Chiapa, León, Comayagua; para un periodo de tiempo comprendido entre 1539-1699; es por esto que se tiene que revisar todo el legajo para investigar una fecha o una posible pista de un evento sísmico.

2-El servicio de fotocopiado es muy lento, lo que no permite la fluidez de pedidos. Un pedido tarda en llegar al interesado hasta 3 meses, lo que provoca grandes inconvenientes para el usuario del Archivo.

Conviene también incorporar en este informe los documentos que fueron consultados en el Archivo General de Centro América, ubicado en ciudad de Guatemala, Guatemala. Estos se detallan en el cuadro.

CUADRO

DOCUMENTOS CONSULTADOS EN EL ARCHIVO GENERAL DE CENTRO AMERICA

DOCUMENTO CONSULTADO				EVENTO SISMICO
A1.23.308	Exp 513	Leg 335	Pag 510	Salvador 1576
A3.16	Exp 37651	Leg 2567		Chiapa 1591
A1.1	Exp 1	Leg 1		Guatemala 1607
A1.1	Exp 3	Leg 1		Salvador 1658
A1.1	Exp 2	Leg 1		"
A1.10.1	Exp 14901	Leg 2101		Guatemala 1663
A3.12	Exp 5911	Leg 530		Salvador 1671

A1.10	Exp 31270	Leg 4046	Guatemala 1689
A1.24	Exp 10224	Leg 1580 Fol 220	Nicaragua 1702
A1.24	Exp 10217	Leg 1573 Fol 128	Salvador 1702
A1.24	Exp 10217	Leg 1573 Fol 273	Guatemala 1702
A1.2	Exp 15921	Leg 2221 Fol 198	V. Fuego 1705
A1.24	Exp 10224	Leg 1580 Fol 187	Salvador 1712
A1.24	Exp 10224	Leg 1580 Fol 190	"
A1.10	Exp 31289	Leg 4047	Guatemala 1717
A2.9	Exp 25359	Leg 2840	"
A1.10	Exp 31287	Leg 4047	"
A1.10	Exp 31190	Leg 4043	Salvador 1719
A1.23		Leg 4603 Fol 40	"
A3.16	Exp 17575	Leg 942 Fol 43	Guatemala 1733
A1.10	Exp 31303	Leg 4047	"
A3.16	Exp 6041	Leg 537	V. Izalco 1735
A1	Exp 46573	Leg 5439	Guatemala 1743
A1	Exp 31331	Leg 4048	"
A1.10.3	Exp 31339	Leg 4048	Guatemala 1747
A1.10.3	Exp 321	Leg 34	Salvador 1748
A1.10.3	Exp 320	Leg 34	"
A1.10.3	Exp 316	Leg 34	"
A1.11	Exp 6197	Leg 674	"
A1.11.25	Exp 319	Leg 34	"
A1.10.3	Exp 317	Leg 34	"
A1	Exp 7077	Leg 335	"
A1.10	Exp 49064	Leg 5811	Guatemala 1751
A1.10.3	Exp 31348	Leg 4049	"
A1.2.9	Exp 25380	Leg 2840	Guatemala 1765
A1.21.11	Exp 24792	Leg 2812	Guatemala 1772
A1	Exp 3290	Leg 163	Guatemala 1773
A1	Exp 3291	Leg 163	"
A1	Exp 4973	Leg 200	Guatemala 1791
A3.13	Exp 560	Leg 40	Costa Rica 1794
A1.37.14	Exp 2646	Leg 249	Honduras 1809
A1.11.12	Exp 5	Leg 1	"
A1.7	Exp 1257	Leg 16	"
A1.1	Exp 42	Leg 4	Salvador 1815
B3.6	Exp 985	Leg 47	Guatemala 1821
B3	Exp 7997	Leg 384	"
B119.4	Exp 60067	Leg 2553	Guatemala 1830
B119.4	Exp 28868	Leg 1189	"
B119	Exp 28866	Leg 1189	"
B119	Exp 32578	Leg 1398	"
B119	Exp 59094	Leg 2544	"
B119.2	Exp 56593	Leg 2513	"

B119.2	Exp 56638	Leg 2515	Guatemala 1831
B	Exp 17503	Leg 745	Salvador 1873
B78.46	Exp 20410	Leg 854	"
B78.35	Exp 17843	Leg 754	Guatemala 1874
B78.19	Exp 15143	Leg 696	Guatemala 1885
B81.2	Exp 23908	Leg 1091	Guatemala 1913
B81.2	Exp 23910	Leg 1091	Salvador 1919

Asimismo, en el cuadro se presenta una lista de periódicos que fueron consultados en la Hemeroteca Nacional de Guatemala.

Cuadro

Periódicos consultados en la Hemeroteca de Guatemala

NOMBRE PERIODICO	FECHA	EVENTO SISMICO
El Imparcial	7, 8, 10 y 11 de agosto de 1942	06-08-1942 (M=)
Diario de Centro América	7, 8 y 10 de agosto de 1942	06-08-1942 (M=)
El Imparcial	29 de octubre de 1945	27-10-1945 (M=)
El Imparcial	23, 24 y 25 de octubre de 1950	23-10-1950 (M=)

APENDICE 3

TERREMOTOS HISTORICOS INTERPRETADOS

A continuación se incluye en el cuadro los temblores históricos que han sido reevaluados en el estudio de la sismicidad de América Central.

CUADRO 1: Temblores históricos reevaluados

FECHA	C	P	EPICENTRO	MAG.	I	FSIS
15260000	B	GS	13.80-90.24	—	VI	SUBD
15391124	B	H	16.33-86.00	>7,0	VII+	ROAT
15650000	B	G	14.53-90.78	5,8	VI	FL
15771129	B	G	14.92-91.66	>7,0	VIII	MO
15780000	B	N	12.42-86.57		IV-V	VOL
15861223	B	G	14.50-90.66	6,0	VII+	FL
15910314	A	GM	15.20-92.50	>7,0	VIII	MO
16071009	A	G	14.50-90.50	6,0	VII+	FL
16090000	B	H	14.30-87.66	—	VI+	—
16210502	A	P	08.60-79.25	—	—	—
16510218	B	G	14.51-90.68	6,0	VII+	FL
16581103	B	S	13.71-89.28	—	VIII	VOLC
17190305	A	S	13.50-89.50	7,0	VII+	SUBD
17330309	A	H	14.15-88.26	B	VII	SUBD
17390000	B	N	11.80-86.20	5,5	VII	FL?
17420000	A	N	11.86-86.11	5,3	VI+	FL?
17471013	A	G	14.50-91.58	—	—	FL?
17510304	A	G	14.58-90.75	6,0	VII+	FL?
17520507	B	N	12.30-87.00	5,3	VI+	FL?
17720316	B	N	11.98-86.16	5,0	—	—
17731216	A	H	15.90-88.20	V	—	MO
17741014	A	H	14.50-87.66	5,5	VII	GC
17750701	A	G	14.36-90.60	—	—	VOLC
17760530	A	S	13.45-89.27	7,0	—	—
17760606	A	S	13.60-89.33	>6,8	—	SUBD
17760729	A	S	13.65-89.25	5,0	VII	FL
17761115	A	S	13.60-89.23	5,5	VII	FL
17770000	B	H	15.90-88.20	B	VII	PO
17840106	B	G	15.42-90.42	6,0	VII	POCHI
17870921	B	S	13.42-88.27	—	IV	VOLC
17910316	A	G	15.00-91.70	5,3	VII	FL
17980202	A	S	13.65-89.25	6,3	VIII	FL

18000814	B	S	13.50-88.46	5,6	VII	FL
18090620	A	H	14.40-87.66	6,0	VII+	GC
18150800	A	S	13.39-89.01	7,0	VII	SUBD
18180217	B	G	14.75-91.55	—	V	VOL
18201019	A	H	15.83-88.08	6,5	VIII	ROAT
18210506	A	G	15.25-90.97	—	VIII	POCHI
18250200	B	H	16.25-86.50	5,5	VI	ROAT
18270901	B	G	14.33-91.08	6,5	VIII	SUBD
18280000	B	G	14.55-91.16	4,5	V	VOLC
18300421	A	G	14.45-90.53	6,0	VIII	FL?
18300503	A	G	14.25-90.20	5,5	VII	JALP
18310207	A	G	13.66-89.50	—	VII	SUBD
18390000	B	S	13.75-89.25	—	—	FL
18450300	B	G	14.36-90.60	—	VI	VOLC
18510517	B	G	15.08-91.83	6,5	VIII	MO
18530209	B	G	14.75-91.75	7,5	VII	SUBD
18530509	B	S	12.25-89.50	—	V-V	SUBD
18530602	B	S	12.25-89.50	—	IV-V	SUBD
18530603	B	S	12.25-89.50	—	IV-V	SUBD
18530609	B	S	12.25-89.50	—	IV-V	SUBD
18540416	B	S	13.68-89.18	7,3	VIII	FL
18540611	B	S	13.65-88.83	6,5	VII	SUBD
18541126	B	S	13.68-89.18	—	VI	FL
18550112	B	G	15.00-92.00	—	V	?
18550126	B	G	14.75-91.45	—	VI	VOLC
18550925	B	H	16.42-86.00	7,0	VIII	ROAT
18560505	B	HB	16.00-88.00	6,5	VI	MO
18560804	B	HB	16.00-88.00	7,0	VIII	ROAT
18571106	B	S	13.63-89.03	6,0	VIII	FL
18580424	B	G	14.48-90.67	—	VII	SUBD
18590825	B	SH	13.10-87.90	—	VI+	FL
18600621	B	S	13.63-88.88	5,6	VIII	FL
18601203	B	S	13.61-89.15	7,1	VII	SUDB
18621219	B	GS	14.40-90.78	8,0	VII+	SUBD
18630301	B	G	14.53-90.53	5,0	IV	FL
18690225	B	G	15.33-90.50	—	VI+	CHIPO
18700512	B	G	14.17-90.33	6,3	VII+	FL
18700612	B	G	14.13-90.37	—	VII	FL
18690225	B	G	15.33-90.50	—	VI	POCHI
18700512	B	G	14.17-90.33	6,3	VIII	FL
18700612	B	G	14.13-90.37	—	VII	FL
18740903	B	G	14.50-90.83	6,0	VII+	FL
18721230	B	S	13.63-88.74	—	VI	FL
18810813	B	G	14.80-90.90	4,5	V	MOT
18850800	B	G	14.55-91.29	4,3	V	FL
18851012	B	N	12.08-87.20	7,5	VII	FL
18851123	B	G	14.41-90.62	—	V	FL

18851218	B	G	14.41-90.62	—	VIII	FL
18910200	B	G	14.49-91.30	4,3	V	FL

Notas: WHI (White, 1988), LARI, (Larios, 1977), SUTC (Sutch, 1981), LEE (Leeds, 1974), PM (Peraldo y Montero, en preparación), G (Guatemala), H (Honduras), N (Nicaragua), S (El Salvador), PO (Polochic), POCHI (Polochic - Chixoy), GC (Graben de Comayagua), SUBD (Subducción), FL (Fallamiento Local), HD (Depresión de Honduras), JALP (Falla Jalpatagua), ROAT (Roatán), I (intensidad MM), FSIS (Fuente sismogénica), FNT (Fuente de información)

APENDICE 4

FORMATO DEL CATALOGO DEL PROYECTO

DESCRIPCION DE PARAMETROS INCORPORADOS DE CATASIS

A continuación se describen los diversos parámetros que se incorporan en el programa CATASIS. En la primera pantalla, se incluyen los principales parámetros focales y de magnitud de los temblores, que son:

-FUENTE: Es la fuente consultada para obtener los datos de fecha y tiempo de ocurrencia del evento sísmico. Consta de 4 espacios, si el dato de la fuente es grande se puede indicar con las cuatro letras iniciales del nombre, pero se debe ser consistente en mantener la fuente como se estableció, ya que es una llave de identidad de los registros. Más adelante se presenta la normativa aplicada para asignar las fuentes consistentemente dentro de este catálogo. Esto con el objetivo de que en futuros intercambios de información entre usuarios, no existan problemas de incompatibilidad de información.

-FECHA: Indica la fecha de ocurrencia del evento sísmico y presenta el formato (año-mes-día). Consta de 10 espacios, es de tipo **CHARACTER**.

ti-TIEMPO: Para incorporar el tiempo origen se sigue el formato (hora-minutos-segundos-décimas de segundo). Este dato es en hora GMT. Este campo consta de 12 espacios y es de tipo **CHARACTER**.

-Número de EVENTO: Se le asigna a cada evento un número por el cual se puede reconocer. Es un dato que junto con la fuente inicial, la fecha y el tiempo forman el conjunto de datos, que se establecen de datos de identificación del evento sísmico. Consta de 6 espacios y es de tipo **NUMERICO** (según Catálogo de América del Sur, SISRA).

-CALIDAD DEL TIEMPO (Cal To): Es un valor que se le asigna al dato del tiempo que indica la precisión de éste. Generalmente este dato lo aporta el autor de la publicación consultada. Este campo de espacio único, es de tipo **CHARACTER**. Se sigue la nomenclatura definida por la Base SISRA, y que distingue las siguientes clases:

CUADRO 3

CALIDAD DEL TIEMPO (SISRA)

CODIGO	RANGO DE ERROR (seg)
A	< 0.25
B	0.25 - 0.50
C	0.50 - 1.00
D	1.00 - 2.00
E	2.00 - 3.00
F	3.00 - 5.00
G	5.00 - 8.00
H	8.00 -12.00
I	12.0 -60.00
U	MIN
V	HR
W	DIA
Y	MES
X	Desconocido

■ **LATITUD (Lat), LONGITUD (Lon):** Representa la latitud y la longitud del epicentro del temblor. Consta de ocho espacios y está diseñado para un campo de tres decimales. Este campo es de tipo **NUMERICO**.

■ **CALIDAD EPICENTRAL (Cal Epi):** Dato incorporado en el catálogo SISRA. Se utiliza la letra F (Fijo) para indicar que la ubicación es macrosísmica. Cuando no aparece letra en el campo destinado, implica que la localización es instrumental. Consta de un espacio único y es de tipo **CHARACTER**.

■ **PROFUNDIDAD:** Este dato indica la profundidad inicial de ruptura del evento sísmico (hipocentro). Consta de 6 espacios y es de tipo **CHARACTER**.

■ **CALIDAD:** Es un valor que indica la exactitud del dato hipocentral. Es un espacio único y es de tipo **CHARACTER**. Se sigue la clasificación de Peraldo y Montero (en prep.) a saber:

1- Clase A: La cobertura azimutal de los datos de intensidades es entre tres o cuatro cuadrantes y estos tienen diferentes valores. Se definen isosistas de los dos valores inmediatos superiores. Se puede relacionar con una fuente sísmica conocida. Zona epicentral definida con 3 o más criterios de percepción asociados.

2- Clase B: Intensidades estimadas se localizan entre tres y dos cuadrantes. Datos de diferentes intensidades definen una dirección de decaimiento de la intensidad. Las dos isosistas de los valores inmediatos superiores se definen parcialmente. Se puede relacionar con una falla activa conocida. Zona epicentral definida con 3 o más criterios independientes.

3- Clase C: Las intensidades determinadas se localizan en un solo cuadrante respecto al epicentro escogido. Se define dirección de decaimiento de la intensidad. Zona epicentral se define con tres o más criterios independientes.

4- Clase D: Un dato de intensidad combinado con datos adicionales sugieren el epicentro o la fuente sísmica.

■ **NUMERO DE ESTACIONES (N Est):** El número de estaciones sismográficas que reportaron el temblor. Este campo consta de 3 espacios y es de tipo **CHARACTER**.

■ **DI:** Tomado del Catálogo NORSAR (Rojas, 1993); es un indicador de distancia:

L = Local
R = Regional
D = Distante

Es importante anotar que el presenta catálogo CATASIS, es para uso regional (Centroamérica), por lo tanto, no tiene sentido el indicador para sismos distantes; a no ser que un evento distante genere en la región efectos como un tsunami.

■ **RMS:** Indica el error medio estándar, que se obtiene como resultado de la localización en el programa **HYPO74PC**, (versión 1: 1985). Consta de 5 caracteres y admite soporta 2 decimales.

■ **GAP:** Falta de cobertura azimutal de estaciones alrededor del epicentro. Consta de 4 espacios según formato del HYPO71 (Lee & Valdéz, 1987, en: Lee, 1987)

■ **ERZ:** Error en la localización vertical, en kilómetros. Consta de 5 espacios (Lee & Valdéz, 1987, en: Lee, 1987).

■ **ERH:** Error en la localización horizontal, en kilómetros. Este campo consta de 5 espacios (Lee & Valdéz, 1987, en: Lee, 1987).

■ **M_b:** Magnitud de ondas de cuerpo. Consta de 3 espacios incluyendo 1 decimal.

■ **FUENTE:** Es la referencia consultada que estimó la magnitud M_b.

■ **M_s:** Magnitud de ondas superficiales.

■ **COMPONENTES (Comp):** la(s) componente(es) que se utilizó(arón) para calcular la magnitud M_s.

■ **FUENTE:** fuente que estimó la magnitud M_s.

■ **OTRA MAGNITUD:** Campo tomado del Catálogo SISRA, para incorporar magnitudes adicionales. Estas pueden ser M_b o M_s o cualquier otro tipo de magnitud, tal como magnitud momento, o pueden ser resultado de una conversión de datos de intensidad o de una escala de magnitud a otra. Existen dos campos que se llaman igual para mayor posibilidad de incluir más datos de magnitudes (si existen).

■ **ESCALA:** Se refiere al tipo de magnitud reportada, por ejemplo, magnitud local (según Catálogo SISRA).

■ **FUENTE:** Referencia del autor que menciona el anterior dato de magnitud (según Catálogo SISRA).

■ **FUENTE SISMICA:** Región geotectónica donde se originó el evento sísmico. Por ejemplo, fallamiento interplaca en zona de subducción, fallamiento interplaca en falla transformada, fallamiento del arco volcánico y otros.

■ **DAÑOS:** Refiere daños asociados al evento sísmico. Las variables para este campo, fueron tomadas, con algunos cambios, de los catálogos NORSAR y SISRA. A este campo se le asignaron 4 variables que pueden ser ampliadas con información adicional en la pantalla de **NOTAS**; estas variables son:

M = **Muertes.**

D = **Daños en estructuras:** rupturas en pisos, agrietamiento de paredes y en estructuras principales, desplome importante de columnas.

E = **DEstrucción total del edificio.**

V = **Vidrieras quebradas.**

L = **Líneas vitales dañadas:** ruptura de carreteras, cables del alumbrado público, ruptura en cañerías, colapso de puentes.

C = **Caída de objetos.**

■ **DIASTROFISMO (DIASTRO):** Son efectos cosísmicos asociados al fallamiento. Se observan en o después de un sismo, tales como levantamiento o subsidencia del terreno o ruptura en superficie asociada a un fallamiento específico. Estas variables están contempladas en los catálogos **NORSAR y SISRA.**

R = **Ruptura en superficie.**

L/H = **Levantamiento, Hundimiento.**

■ **TSUNAMI (TSUNA):** Este campo presenta dos variables para la generación de tsunamis o searches (oleaje en lagos) asociados a un evento sísmico. Se indican las variables contempladas en los catálogos **NORSAR y SISRA:**

T = **Tsunami.**

O = **Oscilación de aguas de lagos o estanques.**

■ **NO TECTONICO (NO TECT)**: Este campo consta de una variable. Cuando el sismo no es tectónico, indica otra posibilidad para la fuente generadora del sismo. Este campo también es contemplado en los catálogos NORSAR y SISRA:

V = Sismo Volcánico.
D = Desprendimientos de rocas.
C = Colapso de minas.
E = Explosiones.
M = Fuente Meteorica.
A = Asentamientos producidos por abatimientos excesivos de acuíferos.
X = Desconocido.

■ **GEODINAMICA EXTERNA (GEO EXT)**: Consta de cuatro variables. Señalan la respuesta del suelo al evento sísmico. Este campo es incluido dentro de los catálogos NORSAR y SISRA. Las variables son:

L = Licuefacción.
D = Deslizamientos.
E = Desprendimientos.
C = Caída de rocas.
A = Asentamientos diferenciales.
G = AGrietamientos en suelos.

■ **EFFECTOS OBSERVADOS (EFEC OBS)**: Indica los efectos diversos que fueron reportados antes o después del evento sísmico; este campo es incluido en los catálogos NORSAR y SISRA. Las variables contempladas son:

L = Luces.
S = Sonidos anteriores o durante el evento.
P = Sismos Precursores.
R = Sismos Réplica.
U = LUces observadas.
O = Ondas de tierra reportadas.

■ **MAXIMA INTENSIDAD (MAX INT)**: Se indica la máxima intensidad reportada para un sismo.

■ **CALIDAD (CAL)**: El autor del cálculo de la máxima intensidad, se indica con el signo "+" si estima que la intensidad alcanzó un nivel superior al valor asignado pero menor que el valor siguiente o "-" para el caso contrario (Catálogo NORSAR).

■ **ESCALA:** Es la escala de intensidades que fue utilizada para asignar el valor. Existen varias escalas:

- ◆ Mercalli Modificada (MM)
- ◆ Rossi-Forel (RF)
- ◆ Milne (MI)

■ **FUENTE:** Fuente o autor que asignó la intensidad.

■ **MAGNITUD MACROSISMICA (MAG M):** Es la magnitud calculada por medio de intensidades y generalmente se calcula para eventos históricos.

■ **TIPO:** Se refiere al tipo de dato o relación matemática al cual se recurrió para efectuar el cálculo de la magnitud macrosísmica, por ejemplo, intensidad máxima o el logaritmo del área sobre una determinada intensidad.

■ **FUENTE:** Autor que calculó la magnitud macrosísmica.

■ **LOGR:** Tomado del Catálogo NORSAR, es el logaritmo (base 10) del radio del área sentida.

■ **LOGA1:** Tomado del catálogo NORSAR. Logaritmo (base 10) del área (km²), donde el terremoto fue sentido excediendo una intensidad dada.

■ **INTENSIDAD 1 (INT1):** Tomado del catálogo NORSAR. Valor de intensidad utilizada para el cálculo del área anterior, que llamamos No 1.

■ **LOGA2:** Tomado del Catálogo NORSAR. Logaritmo (base 10) del área (km²) donde el temblor excede otra intensidad dada.

■ **INTENSIDAD 2 (INT2):** Tomado del Catálogo NORSAR. Intensidad para la segunda área.

■ **QR:** Calidad de los reportes de intensidad que se usaron en las estimaciones anteriores. Tomado del Catálogo NORSAR.

■ **MAPA ISOSISTAS (MAPA ISO):** Refiere o no a la existencia de un mapa de isosistas, incluyendo las ubicaciones de los lugares a los cuales se les asignó un valor de intensidad. Se desarrollan líneas que encierran áreas de igual intensidad (Catálogo SISRA).

■ **FUENTE:** Se refiere al autor del mapa de isosistas.

■ **LOCALIDAD:** Lugar geográfico donde se ha estimado un valor de intensidad (Catálogo SISRA).

- **LATITUD (LAT), LONGITUD (LON):** Ubicación de la localidad con intensidad asignada (Catálogo SISRA).
- **ELEVACION (ELEV):** Es la elevación promedio de la localidad (Catálogo SISRA).
- **DISTANCIA EPICENTRAL (DIST EPI):** Es la distancia que existe entre el epicentro y el lugar donde se estimó la intensidad (Catálogo SISRA).
- **DISTANCIA HIPOCENTRAL (DIST HIP):** Es la distancia que existe entre el hipocentro y el lugar donde se estimó la intensidad (Catálogo SISRA).
- **AZIMUT (AZI):** Azimut del epicentro a la localidad (Catálogo SISRA).
- **INTENSIDAD (INT):** Intensidad observada en la localidad (Catálogo SISRA).
- **CALIDAD:** Asignación de precisión para la interpretación dada.
- **FUENTE:** Iniciales de los intérpretes de la intensidad. En este campo que consta de 4 espacios, se indicará en los dos primeros espacios las iniciales de la escala de intensidad usada y los otros dos espacios para las iniciales de quien interpretó la intensidad (Catálogo SISRA).
- **ACELERACION (ACEL):** Aceleración máxima para un lugar determinado.

En el cuadro siguiente describimos las características de los campos que forman la estructura del archivo CATASIS.dbf.

Cuadro: Descripción de la ESTRUCTURA del ARCHIVO CATASIS.DBF

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO	ANCHO	DECIMALES
Fuente	caracter	4	-
Fecha	caracter	10	-
Tiempo	caracter	12	-
Calidad del tiempo (Cal To)	caracter	1	-
Número de evento	numérico	6	0
Latitud (Lat)	numérico	8	0
Longitud (Lon)	numérico	8	0
Calidad epicentral (Cal Epi)	caracter	1	-
Profundidad (Prof)	caracter	6	-
Calidad profundidad (Cal)	caracter	1	-
Número estaciones (N Est)	caracter	3	-
DI	caracter	1	-
RMS	numérico	5	2
GAP	numérico	4	0
ERZ	numérico	5	1

ERH	numérico	5	1
M ₀	numérico	3	1
Fuente	caracter	3	-
M _s	numérico	3	1
Componentes (Comp)	caracter	2	-
Fuente	caracter	4	-
Otra Magnitud	numérico	3	1
Escala	caracter	2	-
Fuente	caracter	3	-
Otra Magnitud	numérico	3	1
Escala	caracter	2	-
Fuente	caracter	3	-
Mecanismo Focal (Mec Foc)	caracter	3	-
Fuente	caracter	3	-
Fuente sismogénica	caracter	4	-
Daños	caracter	4	-
Diastrofismo (Diastro)	caracter	2	-
Tsunami (Tsun)	caracter	2	-
No Tectónico (No Tec)	caracter	1	-
Geodinámica Externa	caracter	4	-
Efectos Observados	caracter	2	-
Máxima Intensidad (Max Int)	numérico	2	-
Calidad (Cal)	caracter	1	-
Escala	caracter	2	-
Fuente	caracter	3	-
Magnitud Macrosísmica	caracter	7	-
Tipo	caracter	1	-
Fuente	caracter	3	-
Logr	numérico	6	-
LogA1	numérico	6	-
Intensidad	numérico	2	0
LogA2	numérico	6	2
Intensidad 2	numérico	2	0
QR	caracter	1	-
Mapa Isosistas	caracter	1	-
Fuente	caracter	4	-
Localidad	caracter	20	-
Latitud	numérico	8	3
Longitud	numérico	8	3
Elevación	numérico	4	0
Distancia Epicentral	numérico	7	2
Distancia hipocentral	numérico	7	2
Azimet (Azi)	numérico	3	0
Intensidad	numérico	3	0
Calidad	numérico	1	0
Aceleración	caracter	1	-

A continuación se describen brevemente los principales comandos del programa CATASIS:

- **INCLUIR.** Este comando se activa para ingresar nuevos eventos sísmicos a la Base de Datos.
- **MODIFICAR.** Al activar este comando, se puede modificar los datos de eventos previamente ingresados en la Base de Datos.
- **ELIMINAR.** Elimina eventos ya incorporados en dicha Base. Presenta una función de seguridad que pregunta al usuario si desea eliminar el evento desplegado.
- **LISTAR.** Permite listar eventos para verlos solamente.
- **UTILITARIOS.** Dentro de este comando existe el siguiente menú:
 - ♦ **Reindizar.** Ordena por fecha y tiempo de ocurrencia, los eventos incorporados en una sesión de trabajo.
 - ♦ **Entrada en ASCII.** Permite el ingreso de datos provenientes de otras Bases de Datos que están en un lenguaje de computación diferente.
 - ♦ **Salida en ASCII.** Permite la salida de datos de la Base CATASIS en lenguaje ASCII para ser incorporados a otra base en diferente lenguaje.
 - ♦ **Palabra Paso.** Permite modificar las palabra paso principal y las palabras paso secundarias del programa. Para ingresar al sistema se teclea "Alt + 177" tres veces.
- **REPORTES.** Crea reportes para salida a impresora. Genera tres listados: Datos Hipocentrales, Datos macrosísmicos y Distribución de Intensidades.
- **FILTROS.** Genera un reporte para verlo en pantalla o para impresión, según condiciones específicas, las cuales son:
 - ♦ **Coordenadas geográficas.** Genera un área que el usuario define para la escogencia de datos que se encuentren dentro del área geográfica definida.
 - ♦ **Coordenadas geográficas y profundidad.** Escoge los valores por coordenadas geográficas y profundidad, según el rango que el usuario defina.
 - ♦ **Coodenadas geográficas y magnitud (Ms).** Se asignan rangos de valores para las coordenadas geográficas y magnitud.
 - ♦ **Coordenadas geográficas y fecha:** Se asignan rangos de valores para las coordenadas geográficas y fecha.
 - ♦ **Usando todos los parámetros anteriores.** Se asignan rangos de valores para los parámetros dados.

APENDICE 5

DESCRIPCION DE PUBLICACIONES REALIZADAS DENTRO DEL MARCO DEL PROYECTO

A continuación se describen brevemente los trabajos realizados dentro del marco del proyecto de Amenaza Sísmica de América Central.

1.- SISMICIDAD HISTORICA DE AMERICA CENTRAL. Autor: Giovanni Peraldo Huertas.

Es el título de un ensayo publicado en el Boletín del CIRCA (Centro de Información y Referencia sobre Centroamérica y el Caribe) de la UCR. Se describen los objetivos y actividades del proyecto de Amenaza Sísmica del IPGH. También se describe otros proyectos que tenían objetivos comunes, tal como fue el financiado por NORAD.

Se comenta brevemente sobre la metodología empleada en las investigaciones de la sismicidad histórica de América Central. Se resalta que al estudiar la sismicidad pasada de una región particular, se debe investigar directamente en las fuentes primarias, las cuales serán comparadas con la información secundaria. De esta manera, se pueden evidenciar datos erróneos que han sido incorporados en trabajos anteriores. Al mismo tiempo, el artículo es enfático en indicar que toda investigación de sismicidad histórica debe ser refrendada desde el marco histórico imperante en el momento de ocurrencia del evento natural, para de esta forma tener una visión más amplia que permita una mejor reconstrucción del evento.

2.- TEMBLORES DEL PERIODO COLONIAL DE COSTA RICA. Autores: Giovanni Peraldo Huertas, Walter Montero Pohly.

Este es un libro publicado por la Editorial Tecnológica de Costa Rica. La obra está escrita en un lenguaje coloquial, para lograr permear en un amplio público. Además, se incorpora un capítulo que explica con un lenguaje sencillo todo lo concerniente a la tectónica y sismología. Con este fin se dota al lector de estos conceptos básicos para un mejor entendimiento del cuerpo de la obra.

Al ser un libro en donde se aborda el tema de la sismicidad colonial, desde el marco histórico de los periodos de la conquista y la colonia, fue necesario incluir un capítulo con conceptos históricos, donde el lector puede darse una idea de como fue ese ambiente pasado de la historia de Costa Rica.

Como todo país con una tradición que viene desde la historia antigua (antiguamente denominada época precolombina), se incluyen leyendas de grupos étnicos costarricenses, tales como los de ascendencia suramericana (Bribri y Güetares) y ascendencia mesoamericana (Chorotegas). En estas leyendas ricas de misticismo, se han interpretado diversos eventos

geológicos, tales como tsunamis, temblores, erupciones volcánicas y deslizamientos. Con esto, se demuestra las ricas experiencias indígenas con respecto a las diversas amenazas geológicas expresadas en sus leyendas.

En el capítulo IV se rescata información de diferentes archivos y se realiza una visión retrospectiva de la sismicidad colonial costarricense. Se decidió incluir todos los temblores que se recopilaron en las obras literarias anecdóticas o históricas o especializadas sobre sismología que fueron consultadas, tratando de aportar pruebas documentales que evidencien la existencia de los eventos recopilados. Para ello fue necesario asignar grados de confianza a los diferentes temblores que son referidos en esta obra.

3.- EL GEOLOGO ANTE EL DISCURSO DEL DOCUMENTO HISTORICO. Autor: Giovanni Peraldo Huertas.

Este trabajo se publicó en 1993 en la Revista Geológica de América Central. Se analiza desde el punto de vista geológico-histórico el desarrollo de la sismicidad histórica y se describe el marco metodológico de investigación. En esta publicación se desarrolla en detalle la metodología que se considera que es conveniente de aplicar en los estudios de sismicidad histórica.

4.- LA SECUENCIA SISMICA DE 1717, GUATEMALA. IMPACTO SOBRE EL MEDIO CULTURAL. Autores: Giovanni Peraldo Huertas, Walter Montero Pohly.

Este artículo esta en prensa y formará parte del volumen 1 titulado **Historia y Desastres en América Latina**, un documento que coordina la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), en su subsele ubicada en el Consejo Mexicano de Ciencias Sociales (COMECOS).

Se analiza desde una óptica histórica y social, el impacto que provocó sobre la sociedad civil, política y eclesiástica, uno de los desastres más importantes originados durante la época colonial de América Central que afectó la ciudad de Santiago de los Caballeros, Guatemala en el año de 1717. Con base en información documental primaria obtenida en el Archivo General de Indias, así como usando fuentes secundarias y publicaciones especializadas sobre sismicidad histórica de Guatemala, se estudia el impacto sobre el medio cultural y social y las medidas de defensa civil aplicadas por las autoridades a raíz de la anterior secuencia sísmica.

Tres fuentes sismogeneradoras afectaron las poblaciones del centro de Guatemala durante ese año. La primera se manifestó entre fines de agosto y en setiembre y se relaciona con la erupción del Volcán de Fuego. A inicios de setiembre, una segunda fuente de tipo tectónico y relacionada con el fallamiento local, originó tres temblores dañinos (los temblores del día de San Miguel), siendo el último el que destruyó parcialmente la ciudad de Santiago. Finalmente, el 3 de octubre de ese año, ocurrió un temblor posiblemente asociado con la subducción de la Placa del Coco bajo la Placa Caribe y que generó mayores daños en los edificios de Santiago, afectados previamente por los temblores del día de San Miguel. En Guazacapán, un pueblo ubicado cerca de la costa pacífica guatemalteca hubo daños debido a este temblor.

Los sismos evidenciaron la vulnerabilidad social de la población, sobretodo de sus sectores más pobres. Se observa la falta de adaptación de la sociedad al medio geológico. Entre los diversos problemas sociales ocurridos destacan la falta de alimento y vivienda, debido al abandono que los indígenas hicieron de sus pueblos y de sus cultivos. De lo anterior, se evidencia la dependencia de los grandes centros urbanos coloniales, en los cuales residía la clase dominante (españoles y criollos), para con los pueblos indígenas (clase dominada). También, se generó una crisis política entre diversas autoridades, debido a la disyuntiva suscitada ante el planteamiento propuesto por el sector político de trasladar la ciudad a otro entorno geográfico.

5.- PRELIMINARY SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF CENTRAL AMERICA.
Autores: Wilfredo Rojas Quesada, Walter Montero Pohly, Giovanni Peraldo Huertas.

En esta publicación se utilizan el banco de datos de los catálogos NORSAR y CATASIS, una nueva relación de atenuación de aceleraciones, una zonificación sísmica regional, entre otros, para obtener los parámetros dinámicos de la amenaza sísmica de América Central para diferentes periodos de retorno (50, 100, 500 y 1000 años). Este trabajo permite obtener una visión a nivel regional de las zonas con diferentes niveles de amenaza para distintos periodos de retorno. Un resultado del estudio es que la zona de subducción Coco-Caribe, es la que presenta mayor amenaza relativa en América Central.

6- REGIONALIZACION SISMICA DE AMERICA CENTRAL. Wilfredo Rojas Q.

En este trabajo se utilizan los datos obtenidos del Taller de Regionalización Sísmica de América Central. Este informe interno determina las zonas sísmicas que se presentan en la región, partiendo de datos sismológicos históricos e instrumentales y de datos neotectónicos publicados recientemente. Este estudio sirvió de base a un estudio posterior realizado por Rojas et al. (1993).

7- MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA CATASIS ver 2.1. Editores Giovanni Peraldo y Walter Montero

Este es un manual en el que se describe detalladamente los diversos módulos que conforman el programa CATASIS. Además, se describen cada uno de los comandos que se utilizan para la incorporación y el manejo de la información sismológica. Finalmente, se describen las diversas entradas de datos sismológicos que se usan en cada uno de los módulos que constituyen CATASIS.

8- MAPA DE INTENSIDADES MAXIMAS DE AMERICA CENTRAL. Magda Taylor, Rafael Barquero y Wilfredo Rojas.

Se presenta un mapa de intensidades máximas de América Central para el periodo 1520 a 1993. La escala es 1: 2200000. Las zonas de mayor intensidad generalmente están relacionadas con sismos corticales de magnitud intermedia, del arco montañoso de América Central. Sin embargo, algunos terremotos de subducción, del área trasarco y del sistema de fallas Polochic-Motagua, también se observa generaron intensidades altas sobre áreas extensas.

9- UN ENCUENTRO ENTRE LA GEOLOGIA Y LA HISTORIA COLONIAL.
Claudia Quirós

Se publicó en la revista número 1 de Reflexiones, en el mes de agosto de 1992. Se realiza un análisis de la interacción entre la geología y la historia en los estudios de sismicidad histórica. Se describe la labor realizada en el Archivo General de Indias, como parte del proyecto de sismicidad histórica del IPGH.

PUBLICACIONES EN PROCESO DE ELABORACION

1.- DATOS MACROSISMICOS DE LOS TEMBLORES SENTIDOS EN CENTRO AMERICA, PERIODO 1469 - 1899. TOMO I. Autores: Giovanni Peraldo Huertas, Walter Montero Pohly.

Este será un libro en donde se realizará un estudio pormenorizado de la sismicidad histórica destructiva de América Central. Se incluirán los datos macrosísmicos calculados para los temblores más relevantes ocurridos en América Central desde 1469 hasta 1899. En el apéndice se presenta la información de los temblores evaluados hasta el presente.

2.- DOCUMENTOS PARA LA HISTORIA SISMICA Y VOLCANICA DE AMERICA CENTRAL. TOMO II. Autores: Giovanni Peraldo Huertas, Claudia Quirós Vargas, Walter Montero Pohly.

En este documento se incorporará las diversas transcripciones que se realizaron de los diferentes documentos localizados en los distintos archivos visitados por los diversos investigadores participantes en el proyecto. Además, se incluirá la información existente en diferentes documentos previamente publicados sobre la sismicidad histórica de América Central.

APENDICE 6

BIBLIOGRAFIA DEL PROYECTO

ALVAREZ, S.; 1990: Sismicidad de El Salvador. Memorias del primero Seminario Taller sobre Sismicidad de América Central, 26 al 28 de junio de 1989. págs. 15 a 41.

ARCINIEGAS. G.; 1986: Biografía del Caribe. Editorial Libro Libre, San José, Costa Rica, 501p.

BOSCHINI, I.; 1990: Sismicidad histórica, región de Limón y Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. 97 p.

CAMACHO, E., VIQUEZ, V.; 1993: El terremoto de San Blas del 7 de setiembre de 1882. Geociencias, 61-75.

CAMACHO, E., VIQUEZ, V.; 1994: Historical seismicity of the North Panamá Deformed Belt. Rev. Geol. Amer. Central, Vol 15:49-64.

CARR., M., STOIBER, R.; 1978: Tectonic setting and destructive earthquakes in Central América. Bull. Geol. Soc. Am, 88:151-156.

COLLADO, C.; 1988: Nicaragua. Editorial Nueva Imagen, México DF. Primera Edición. 503p.

CRAWFORD, J.; 1902: List of the most important volcanic eruptions and earthquakes in western Nicaragua within historic time. Am. Geologist, August, 3:111-113 y December 395-396.

DIAZ, V.; 1933: Conmociones terrestres de América Central- Imprenta de José de Pineda Ibarra, Guatemala, 267 p.

DIAZ, V.; 1980: Narraciones. Imprenta de José de Pineda Ibarra, Guatemala, 290 p.

DIAZ DEL CASTILLO, B.; 1988: Historia de la Conquista de la Nueva España. Editorial Patria, 3a edición, México. 971 p.

DOLLFUS, A., MONTSERRAT, E.; 1868: Voyage géologique dans les républiques de Guatemala et El Salvador. Imprimerie Impériale Paris, Mission Scientifique au Mexique et dans l' Amérique Centrale. Geologie, 539 p.

DUTRENIT, S.; 1989: El Salvador. Editorial Nueva Imagen, México DF. Primera Edición, 475p.

GONZALEZ, M.; 1987: El terremoto de San Rafael del Occidente de Guatemala, 24 de octubre , 1775. Cent. Inv. Fac. Arq. No. 1-87, C. Guatemala. 46 p.

GONZALEZ, C.; 1994: Temblores, terremotos, inundaciones, erupciones volcánicas para el período 1610-1910- Edit. Tecnológica, Segunda Reimpresión, San José, Costa Rica, 200p.

GRASES, J.; 1974: Sismicidad de la Región centroamericana asociada a la cadena volcánica del Cuaternario. Volumen 2. Instituto de Geociencias, Caracas.

GÜENDEL, F.; 1986: Seismotectonic of Costa Rica: An analytical view of the southern terminus of the Middle America Trench, PhD thesis, Universidad de California, St. Cruz, 157 p.

GÜENDEL, F.; 1988: Sismicidad histórica y su relación a las fuentes sísmicas activas en el presente, resultados preliminares. Tercera Memoria del Seminario Nacional de Geotécnia. San José.

INCER, J.; 1991: Viajes, rutas y encuentros, 1502-1838- Ed. Libro Libre, Colección V Centenario, San José, Costa Rica, 638 p.

JIMENEZ, T.F.; 1993: Tabla cronológica preliminar de los temblores más intensos en El Salvador. Inst. Inv. Geotec. El Salvador.

JORGENSEN, K.M.; 1966: Seismological history of the canal zone and Panama. Panama Canal Co. Meteorological and Hydrographic Branch, report 12 p.

FELDMAN, L.; 1988a: Master list the eathquakes of Central America- Fotocopias.

FELDMAN, L.; 1988b: Guatemalan Temblores y Terremotos, A Catalogue- Academia de Geografia e Historia de Guatemala. Documento inédito. 85 p.

FERNANDEZ, M., PERALDO, G., FLORES, R., ROJAS, W.; 1993: Tsunamis en Centroamerica. Tecnología en Marcha, 12(2):17-30

FUENTES Y GUZMAN, F.; 1979: Recordación Florida. Vol. 9. Editorial de José de Pineda Ibarra. Reimpresión. 164 pp.

LARDE, J.; 1960: Obras completas. Publicaciones del Ministerio de Cultura, San Salvador, El Salvador, 597 pp.

LARIOS, D.; 1979: Seismicity and earthquakes focal mechanisms of El Salvador- Tesis de doctorado, Instituto Politécnico de Virginia, Estados Unidos de América, 90 p.

LEEDS, D., MOORE, D.; 1974: Catalog of Nicaraguan earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., 64:1135-1158.

- LESSEPS, F.; 1882:** Le tremblement de terre de l'isthme de Panama. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, vol 95:817-821.
- MENDOZA, C., NISHENKO, P.; 1989:** The north Panama earthquake of 7 September 1882: evidence for active underthrusting. Bull. Seism. Soc. Am., 79:1224-1269.
- MIYAMURA, S.; 1980:** Sismicidad de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, 190 p.
- MOLINA, E.; 1991:** Reporte preliminar sobre las réplicas del terremoto de San Miguel Pochuta, Guatemala del 18 de setiembre de 1991. INSIVUMEH, Guatemala, 13 p.
- MOLINA, E., VILLAGRAN, M.; 1990:** Aspectos generales de la Sismicidad en Guatemala. Memorias del primer Seminario Taller sobre Sismicidad de América Central, 26 al 28 de junio de 1989. págs.42 a 60
- MONTANDON, F.; 1969:** Les megaseismes en Amérique, Revue pour l'étude des calamités, 38:57-97,
- MONTERO, W.; 1986:** Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores interplaca e intraplaca en la región de Costa Rica. Rev. Geol. Amer. Central, 5:35-72.
- MONTERO, W.; 1986:** El terremoto de San Estanislao del 7 de mayo de 1822. Un gran temblor de Subducción al sur de Costa Rica?. Ciencia y Tecnología. San José, Costa Rica, Vol 10 (2):11-20.
- MONTERO, W.; 1989:** Sismicidad histórica de Costa Rica, período 1610-1910- Rev. Geof. Int., 28:531-559.
- MONTERO, W., ALVARADO, G.; 1988:** Los terremotos de Bagaces de 1935 Y 1941: Neotectonismo transversal a la cordillera volcánica de Guanacaste, Costa Rica. Ciencia y Tecnología, 12(1-2):69-87, San José, Costa Rica.
- MONTERO, W., CLIMENT, A.; 1990:** Los terremotos de Grecia de 1882 y de Quepos de 1952, Costa Rica, distribución de intensidades y origen tectónico. Ciencia y Tecnología, 14(1-2):81-105. San José, Costa Rica.
- MONTERO, W., MIYAMURA, S.; 1981:** Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. Rev. Inst. Geogr. Nacional, julio-diciembre, 1981, 9-34.
- MONTESSUS, F.; 1888:** Tremblements de terre et éruptions volcaniques au Centre-Amérique depuis la conquête espagnole jusqu'à nos jours. Société des Sciences Naturelles de Saône et Loire, Dijon 1888, 293 p.

- MORALES, LD., MONTERO, W.; 1990:** Sismotectónica, brechas sísmicas y potencial sísmico en Centro América. Memorias I Seminario-Taller Sismicidad de América Central, Guatemala 26-28 junio de 1989. Edit. Aristóteles Vergara M., Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales, 73-88.
- ORANTES, M.; 1989:** Catálogo sobre los registros sísmicos violentos existentes en el Depto. de Inv. Sismológicas y su forma de archivo en computador. Technical Report, Centro de Investigaciones Geotécnicas, San Salvador, El Salvador.
- PARDO, J.; 1969:** Guía de Antigua Guatemala. Tercera Edición. Editorial José de Pineda Ibarra, Guatemala. 273 pp.
- PERALDO, G.; 1993:** El geólogo ante el discurso del documento histórico. Rev. Geol. Amer. Central, 15:88-92.
- PERALDO, G.; 1993:** Sismicidad histórica de América Central. Boletín CIRCA, 7-8-9:27-33.
- PERALDO, G., MONTERO, W.; 1994:** Los temblores del período colonial de Costa Rica, período 1538-1821- Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 180 p.
- PERALDO, G., MONTERO, W.: 1994:** Sismicidad histórica de América Central, información macrosísmica (1469 - 1900). Tomo 1: Sismicidad histórica de América Central. Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Informe técnico, 357 p.
- PERALDO, G., QUIROS, C., MONTERO, W.; 1994:** Documentos para la historia sísmica y volcánica de América Central (1516-1899). Tomo 2: Sismicidad histórica de América Central. Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), Informe técnico, 201 p.
- QUIROS, C.; 1992:** Un encuentro entre la geología y la historia colonial. Revista Reflexiones 1:23-26.
- RECINOS, A.(Traduc.); 1993:** Memorial de Sololá, Anales de los Kaqchikeles. Título de los señores de Totonicapán. Editorial Piedra Santa, Guatemala, primera reimpresión. 204 p.
- ROJAS, W.; 1993:** Catálogo de sismicidad histórica y reciente en América Central: Desarrollo y Análisis. Tesis de Licenciatura en Geología, Universidad de Costa Rica, 91 p.
- ROJAS, W., COWAN, H., LINDHOLM, C., DAHLE, A y BUNGUM, H., 1993:** Regional Seismic Zonation for Central America. A Preliminary Model.- Technical Report, NORSAR, Norway.
- SCHAUFELBERGER, P. JIMENEZ, E.; 1933:** Apuntes de Geología, Algunas nociones sobre terremotos y temblores en Costa Rica. Publicaciones del Liceo de Costa Rica, San José, Costa Rica, 31.

- SHULTZ, R.; 1963:** Estudio sobre la sismicidad en la región centro-americana. Boletín Bibliográfico de Geografía y Oceanografía Americanas, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Vol 3:135-144.
- SUTCH, P.; 1981:** Estimated intensities and probable tectonic source of historic (pre - 1898) Honduran earthquakes. Bull. of the Seism. Soc. of Am., Vol 71, No 3:865-881.
- TABOR, L., 1967:** Compilation on seismic data: Panamá and adjoining land and sea areas. NVO - 99 - 22. J. A. Blume, Research Division, San Francisco, december 1967, 40 p.
- TARACENA, A.; 1970:** Los terremotos de Guatemala. Album Gráfico, Guatemala, 238 p.
- TORAL, J.; 1992:** Reconstrucción histórica de la ocurrencia de terremotos y sus efectos en Panamá. Informe de avance. Instituto de Estudios Nacionales (IDEN). apéndice No 1 Proyecto CSUCA, Universidad de Panamá, Rep. de Panamá.
- VASSAUX, J.; 1969:** Cincuenta años de sismología en Guatemala. Ministerio de Agricultura, Dirección de Recursos Naturales Renovables. Observatorio Nacional, Guatemala, 98 p.
- WHITE, R.; 1984:** The Guatemala earthquake of 1816 of the Chixoy-Polochic fault. Bull. Seism. Soc. Am., 74:455-473.
- WHITE, R., CIFUENTES, I.; 1988:** Seismic history of the Middle America Trench spanning the Guatemala triple junction and an earthquake forecast for western El Salvador. Informe preliminar. 30 p.
- VIQUEZ, V., CAMACHO, E.; 1993:** El terremoto de Panamá La Vieja del 2 de mayo de 1621: Un sismo intraplaca. Informe técnico, Panamá.
- VIQUEZ, V., TORAL, J.; 1987:** Sismicidad histórica sentida en el istmo de Panamá. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Rev. Geofísica, 27:135-166.